



582

Ex Libris

**BIBLIOTEKI
PUBLICZNEJ**

IMIENIA

**STEFANA HEMPLA
SEJMIKU
RADOMSKIEGO
W RADOMIU.**

a

a

FORMULES,
TABLES
ET RENSEIGNEMENTS PRATIQUES;

AIDE-MÉMOIRE
DES INGÉNIEURS, DES ARCHITECTES,
ETC.

FORMULES, 235

TABLES

ET

RENSEIGNEMENTS PRATIQUES;

AIDE-MÉMOIRE

DES INGÉNIEURS, DES ARCHITECTES,
ETC.

PAR J. CLAUDEL,

INGÉNIEUR CIVIL,
ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES.

BIBLIOTECA PUBLICA
MAGAR 008-85
-1-
Księgozbiory
Stefana Hempla

PARIS,

CARILIAN-GOEURY ET V^oA DALMONT, ÉDITEURS,
LIBRAIRES DES CORPS ROYAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,
Quai des Augustins, n^{os} 39 et 41.

1845

1845

PARIS. — IMPRIMERIE DE FAIN ET THUNOT,
Rue Raclno, 28, près de l'Odéon.

1845



WOJEWÓDZKA
BIBLIOTEKA PUBLICZNA
26-600 RADOM

*księgozbiór
przedwojenny*

15884

INTRODUCTION.

L'art de bien construire repose sur un certain nombre de principes, servant de base aux règles pratiques à suivre dans l'établissement d'un projet quelconque : depuis la machine la plus élémentaire jusqu'à la plus compliquée ; de l'atelier du simple ouvrier, jusqu'à ces usines et fabriques où des milliers de bras utilisent la force de moteurs qui étonnent par leur puissance et leurs mouvements majestueux ; du chemin de culture, aux belles lignes de chemin de fer ; de la chétive habitation rustique, aux palais les plus somptueux.

De ces principes, on conclut, d'après des considérations théoriques, des règles générales invariables, que la pratique modifie selon les diverses circonstances qui se rattachent à chacune d'elles.

Les règles théoriques s'expriment par des formules également invariables, que posent ces hommes qui savent si bien analyser toutes les causes qui participent à un effet. Les règles pratiques s'expriment par les mêmes formules,

mais dans lesquelles il faut faire intervenir un coefficient pour tenir compte des circonstances que l'on ne peut analyser théoriquement : si l'on veut avoir, par exemple, le travail produit par la vapeur dans une machine à vapeur, il faut affecter l'expression théorique du travail qu'elle développe dans le cylindre, d'un coefficient qui dépend du frottement des pièces de la machine, du refroidissement, des pertes de vapeur, etc., et qui par suite varie avec le système, les soins d'entretien et la force de la machine; si l'on calcule la section à donner à une pièce pour résister à un effort donné, il faut, pour tenir compte de la non-homogénéité de la matière, multiplier le résultat théorique par un coefficient qui varie selon la nature de la pièce, son mode de résister, et le degré de stabilité qu'on veut obtenir.

Quelques règles sont empiriques, c'est-à-dire que les formules qui les expriment sont posées de manière à représenter, aussi exactement que possible, les relations qui existent entre différents résultats pratiques, sans avoir égard à aucune considération théorique : telles sont les formules qui lient la température de la vapeur d'eau à sa force élastique (n° 201, page 259).

Autant que l'on peut, il faut déduire les formules pratiques des formules théoriques, parce que ces dernières généralisent, au lieu que celles purement pratiques ne font que réunir des résultats obtenus dans des cas particuliers, et qui souvent varient d'un lieu à un autre, d'une matière à une autre, en un mot suivant les mille circonstances différentes qui se présentent dans les applications.

Ainsi la pratique doit s'appuyer sur la théorie ; c'est en partant de ce point de vue que nous avons rédigé ce recueil de formules, tables et renseignements pratiques, afin qu'il soit utile aux savants, que les ingénieurs et architectes y trouvent des règles sûres pour établir leurs projets, et les constructeurs et ouvriers, tous les renseignements nécessaires à la bonne exécution de leurs travaux.

Nous avons, autant qu'il nous a été possible, cité l'auteur de chaque formule et de chaque renseignement, d'abord pour lui attribuer le mérite de son œuvre, ensuite parce qu'on retient mieux et qu'on applique plus sûrement une règle quand on connaît la source d'où elle découle ; si nous avons fait quelques omissions, nous prions les personnes qui y sont intéressées de vouloir bien nous les faire connaître ; c'est également avec la plus vive reconnaissance que nous recevrons les observations sur ce qui se trouve dans notre ouvrage, et les documents qui peuvent ne pas être à notre connaissance.

L'art de construire se divise en plusieurs parties ; mais il y a des règles qui sont communes à toutes ces parties, et d'autres qui ne diffèrent que légèrement dans plusieurs d'entre elles ; c'est afin de ne pas faire double emploi, et de bien montrer toute l'analogie qui existe entre les mêmes règles appliquées dans diverses circonstances, que nous les avons toutes réunies dans un même volume. En suivant ces règles, les ingénieurs, les architectes et les constructeurs mettront en harmonie toutes les différentes parties de leurs projets, donneront des dimensions convenables et des formes agréables à leurs pièces, et emploie-

ront partout judicieusement la matière; d'où naîtra l'agréable, la commodité, la sécurité et l'économie.

Ouvrier d'abord, nous avons senti l'utilité de ce recueil, ingénieur, nous en comprenons toute l'importance; c'est ce qui nous a décidé à entreprendre un travail aussi pénible que difficile; heureux si nous avons atteint le but que nous nous sommes proposé, car nous épargnerons du temps aux personnes qui sont à même de consulter des ouvrages spéciaux sur l'art de construire, et nous viendrons en aide à tous ces hommes laborieux qui se trouvent jusque dans les provinces les plus reculées, et qui, malgré leur talent naturel et leur pratique, ne commettent que trop souvent des erreurs dans les dispositions qu'ils adoptent, et dans la manière dont ils emploient les matériaux. Si nous nous sommes rendu utile à nos anciens et nouveaux camarades, ce sera pour nous la plus belle récompense.

TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE.

Effet des moteurs naturels animés et inanimés, sur les machines.

Définitions et principes.

Numéros.	Pages.
1 Observations.	1
2 Force.	1
3 Mouvement uniforme.	2
4 Mouvement varié.	2
5 Mouvement périodique constant	2
6 Mouvement uniformément accéléré	2
7 Pesanteur. Mouvement uniformément accéléré dû à la pesanteur.	2
8 Mouvement uniformément retardé.	3
9 Formules générales exprimant les relations qui existent entre les espaces parcourus, les vitesses et les temps dans les mouvements uniformément accélérés ou retardés	3
10 Travail produit par une force	4
11 Poids d'un corps. Travail dépensé pour élever un poids donné à une certaine hauteur.	4
12 Masse d'un corps	4
13 Relations entre les forces, les masses et les vitesses. Relations entre le poids et la masse d'un corps	4
14 Quantité de mouvement.	5
15 Seconde expression du travail produit par une force (n° 10).	5
16 Troisième expression du travail produit par une force (n° 10 et 15). Forces vives. Principes des forces vives.	5
17 Quatrième expression du travail produit par une force (n° 10, 15 et 16).	6
18 Différentes dénominations du travail produit par une force.	6
19 Différentes unités de travail : kilogrammètre, cheval-vapeur, grande unité dynamique	6

Numéros.	Pages.
20 Tableau des quantités de travail moyennes et journalières produites par les moteurs animés dans diverses circonstances	7
21 Observations sur la table précédente	9
22 Effort, vitesse et durée du travail journalier des moteurs animés, correspondant au maximum d'effet.	9
23 Tableau du rapport de l'effort de tirage à la charge trainée, voiture comprise, sur différentes espèces de chemins.	9
24 Tableau des poids maximums des différentes voitures, charges comprises, tels qu'ils ont été consignés dans le projet de loi sur la police du roulage, présenté à la chambre des pairs et adopté par elle dans sa séance du 15 février 1844	10
25 Tableau des rapports de la force de tirage à la charge totale trainée, d'après les expériences de M. Morin	12
26 Tableau des efforts qu'un manœuvre de force ordinaire peut exercer pendant un court intervalle de temps, en agissant sur différents outils.	16

Pesanteurs spécifiques.

27 Densité ou pesanteur spécifique ou encore poids spécifique d'un corps	16
28 Tableau des densités de quelques corps	17
29 Tableau du poids d'un mètre cube de divers corps dont les densités n'ont pu être déterminées d'une manière aussi précise que pour ceux du tableau précédent.	20

Machines en général.

30 But d'une machine.	27
31 Équilibre dynamique d'une machine	27
32 Équilibre dynamique périodique d'une machine	27

Frottement.

33 Frottement de glissement; de quoi il dépend.	27
34 Influence de la durée du contact des surfaces sur le frottement.	27
35 Travail absorbé par le frottement.	28
36 Frottement de roulement.	28
37 Tableau des valeurs du coefficient de frottement des surfaces planes, d'après les expériences de M. Morin.	29
38 Tableau des valeurs du coefficient de frottement des surfaces planes, d'après divers opérateurs.	32
39 Tableau des valeurs du coefficient de frottement des axes en mouvement sur leurs coussinets.	33
40 Expressions du travail absorbé par le frottement : 1° d'un corps qui se meut sur une surface plane, pour un espace quelconque; 2° d'un axe qui tourne dans un coussinet, pour une révolution; 3° d'un pivot vertical tournant sur sa crapaudine, aussi pour une révolution; 4° d'une couronne ou collet tournant en frottant par une face normale à son axe.	35
41 Frottement produit par la garniture d'un piston, et travail absorbé par ce frottement pour une course du piston.	36

Cordes et courroies.

42 Roideur des cordes.	37
--------------------------------	----

Numéros	Pages.
43 Influence des diamètres de la corde et de la poulie ou tambour sur la résistance due à la roideur.	37
44 Roideur des cordes goudronnées.	37
45 Roideur des cordes blanches mouillées.	38
46 Tableau de la roideur de différentes cordes s'enroulant sur une poulie de un mètre de diamètre.	38
47 Application	38
48 Cordes plates	39
49 Moufles.	39
50 Frottement d'une corde ou d'une courroie sur un cylindre fixe.	40
51 Transmissions de mouvement au moyen d'une corde ou d'une courroie sans fin.	40
52 Application	41
53 Rouleaux de tension	41

Machines simples

54 Presse à coin.	42
55 Vis à filets carrés	42
56 Équilibre statique du treuil en négligeant les frottements.	43
57 Équilibre statique du treuil en tenant compte des frottements.	43
58 Cabestan.	44
59 Frottement des engrenages. Application.	45
60 Frottement des engrenages coniques.	46
61 Crémaillère	46
62 Forme des dents de roues d'engrenage.	46
63 Travail absorbé par le bouton d'une manivelle.	47
64 Manivelles à double et à simple effet.	47
65 Équilibre dynamique d'une manivelle à double effet.	47
66 Équilibre dynamique de deux manivelles à double effet, montées à angle droit sur le même arbre.	48
67 Équilibre dynamique de trois manivelles, montées sur le même arbre, et faisant entre elles des angles égaux.	49
68 Équilibre dynamique d'une manivelle à simple effet.	49
69 Longueur à donner à une bielle	50
70 Volant pour une manivelle à simple effet et à double effet.	50
Application.	51
71 Volant pour une manivelle à simple effet et à contre-poids.	52
72 Équilibre dynamique de l'excentrique.	52
73 Équilibre dynamique du pilon.	53
74 Choc des corps. Application au cas d'une bague à cames faisant mouvoir un marteau.	54
75 Force vive que possède une masse tournant autour d'un axe.	55
76 Équilibre dynamique des marteaux. Proportions des différentes espèces de marteaux.	56
77 Volant pour marteau.	58
78 Formule donnée par M. Morin pour calculer les poids des volants de laminoirs pour les grandes tôles et pour l'étirage des fers en barres.	60
79 Force centrifuge.	61

Numéros	Pages.
80 Pendule simple. Longueur du pendule simple qui bat les secondes à Paris.	61
81 Pendule conique.	62
82 Treuil régulateur.	64
83 Sonnette à tiraudes.	66
84 Sonnette à déclic.	66
85 Battage des pieux.	67
86 Manège.	68
87 Chevaux de manège, soins à leur donner.	69
88 Frein dynamométrique. Application.	70
Écoulement de l'eau.	
89 Écoulement en mince paroi. Vitesse d'écoulement de l'eau.	72
90 Tableau des hauteurs correspondant à différentes vitesses d'écoulement.	73
91 Écoulement à gueule-bée. Vitesse d'écoulement de l'eau.	73
92 Vitesse d'écoulement de l'eau par un orifice noyé sur les deux faces.	74
93 Écoulement d'un liquide soumis à une pression étrangère.	74
94 Dépense théorique par un orifice d'écoulement.	74
95 Dépense effective.	74
96 Contraction complète de la veine. Tableau des coefficients de la dépense par des orifices rectangulaires verticaux, la contraction étant complète.	75
97 Contraction incomplète.	78
98 Vannes d'écluses.	78
99 Orifices voisins.	78
100 Vannes inclinées.	78
101 Orifices en déversoir.	78
102 Orifices circulaires garnis d'ajutages cylindriques de même diamètre.	79
103 Orifices cylindriques garnis d'ajutages cylindriques convergents.	79
104 Orifices garnis d'ajutages coniques divergents.	80
105 Orifices accompagnés d'un coursier.	81
106 Orifices garnis d'ajutages directeurs.	82
107 Vanne accompagnée d'une buse pyramidale, dite <i>bec-de-cane</i>	82
108 Orifices en déversoir garnis d'un coursier peu incliné.	83
109 Écoulement de l'eau lorsque le niveau est variable sur une face ou sur les deux faces de l'orifice d'écoulement, et que le vase qui se vide ainsi que celui qui se remplit ont des sections constantes en tous les points de leurs profondeurs (ce numéro s'applique principalement aux écluses des canaux de navigation).	83
Cours d'eau.	
110 Jaugeage d'un cours d'eau à section constante et à pente uniforme. Formules de Prony et d'Eytelwein, reliant la pente, la section, le périmètre mouillé et la vitesse du cours d'eau. Rayon moyen.	86
111 Relations entre la vitesse moyenne, la vitesse maxima à la surface et la vitesse au fond d'un cours d'eau.	87
Rapport entre la vitesse moyenne de tous les filets rencontrés par une verticale à la vitesse à la partie supérieure de la verticale.	88
Tableau des vitesses maximum au fond d'un cours d'eau pour différentes natures de sols.	89

Numéros.	Pages.
112 Jaugeage des rivières.	89

Tuyaux de conduite des eaux.

113 Formule de Prony reliant la pente et le diamètre des tuyaux de conduite, et la vitesse moyenne de régime des eaux.	90
114 Tables de Prony et d'Eytelwein relatives à l'établissement des canaux à ciel découvert, et table de Prony relative aux tuyaux de conduite des eaux.	91
115 Application de la table précédente.	97
116 Formation de la table suivante, relative à l'établissement des tuyaux de conduite des eaux.	98
117 Table donnant directement la vitesse de l'eau dans un tuyau de diamètre donné, et le débit de ce tuyau sous une charge déterminée.	100
118 Déterminer le diamètre d'une conduite de 5000 mètres de longueur capable de débiter 60 mètres cubes d'eau par heure, la charge totale étant de 5 mètres.	119
119 Élever, à l'aide d'une machine à vapeur, 60 mètres cubes d'eau à 25 mètres de hauteur, par heure, la longueur de la conduite étant de 1000 mètres.	119
120 Distribution d'eau à l'aide d'une conduite, de diamètre uniforme sur toute sa longueur, alimentant sur son parcours différents écoulements de débits déterminés.	121
121 Déterminer les diamètres à donner aux deux portions d'une conduite recevant l'eau par ses deux extrémités, et alimentant sur son parcours différents écoulements de débits déterminés.	122
122 Distribution d'eau au moyen d'une conduite de différents diamètres.	123
123 Conduite alimentée par deux autres à une même extrémité.	123
124 Pouçe de fontainier.	124
125 Borne fontaine.	124
126 Perte de charge due aux coudes des tuyaux.	124
127 Proportions des tuyaux de conduite des eaux.	125

Moteurs hydrauliques.

128 Chute disponible.	128
129 Niveau des eaux.	128
130 Roues à aubes planes recevant l'eau en dessous, ou roues à choc.	128
131 Roues à aubes courbes recevant l'eau en dessous, dites roues à la Poncelet.	131
132 Roues de côté.	133
133 Roues à augets.	137
Versement des augets.	138
Effet utile pratique.	139
Capacité et forme des augets.	140
Direction du filet moyen.	142
Vannage.	144
Position des roues à augets par rapport au niveau d'aval.	146
134 Roues se mouvant dans un courant à grande section, dites roues pendantes.	146

Numéros.	Pages.
135 Turbines versant l'eau en dessous, de M. Burdin.	147
136 Turbines versant l'eau latéralement, de M. Fourneyron.	152
Application.	156
Résultats pratiques.	157

Machines à élever l'eau.

137 Machines à colonne d'eau.	160
138 Béliet hydraulique.	162
139 Pompes. Différentes espèces de pompes. Leur établissement.	165
140 Presse hydraulique.	171
141 Chapelet incliné.	172
142 Chapelet vertical.	173
143 Noria.	173
144 Roues élévatoires.	175
145 Roues à seaux ou à godets.	175
146 Tympan.	176
147 Baquetage à bras.	177
148 Seau à bascule.	177
149 Seau manœuvré à l'aide d'un treuil.	178
150 Manège du maratcher.	178
151 Vis d'Archimède.	178

Moulins à vent.

152 Moulins à vent.	180
Tableaux des pressions exercées par le vent à différentes vitesses contre un mètre carré d'une surface choquée directement.	181
153 Travail d'un moulin à vent appliqué à une huilerie, ou employé à la mouture du blé.	183
Travail des moulins à blé ordinaires.	185

Écoulement des gaz.

154 Écoulement des gaz.	186
---------------------------------	-----

Conduites d'air.

155 Conduites d'air.	188
------------------------------	-----

Machines soufflantes.

156 Machines soufflantes.	191
-----------------------------------	-----

Ventilateurs.

157 Ventilateur aspirant.	194
158 Ventilateur soufflant.	194

Résistance des matériaux.

Numéros.	Pages.
159 Résistance à la traction.	195
160 Résistance à l'écrasement.	201
161 Section d'une bielle.	205
162 Formules de Tredgold, reliant les dimensions d'une pièce de fonte ou de fer à la charge qu'elle supporte.	205
163 Résistance, à un effort transversal, d'une pièce prismatique encastrée par une de ses extrémités, et sollicitée à l'autre par une force unique.	206
Influence de la section transversale de la pièce.	209
164 Résistance transversale d'une pièce reposant par un des points de sa longueur, et sollicitée à ses extrémités par deux forces qui se font équilibre autour de ce point.	212
165 Résistance transversale d'une pièce prismatique encastrée par une de ses extrémités, et chargée uniformément sur toute sa longueur.	213
166 Cas où la pièce encastrée par une de ses extrémités est chargée d'un poids à son autre extrémité et d'une charge uniformément répartie sur toute sa longueur.	214
167 Pièce reposant sur deux appuis placés à ses extrémités, et chargée d'un poids au milieu de sa longueur.	214
168 Cas où la pièce reposant sur deux appuis est chargée uniformément sur toute sa longueur.	215
169 Pièce reposant sur deux appuis, chargée d'un poids au milieu de sa longueur, et d'un autre poids uniformément réparti sur toute sa longueur.	216
170 Pièce reposant sur deux appuis et chargée d'un poids placé en un point quelconque de sa longueur.	216
Cas où la pièce, outre un poids appliqué en un point quelconque de sa longueur, est chargée d'un poids uniformément réparti sur toute sa longueur.	217
171 Résistance transversale d'une pièce prismatique dont une extrémité est encastrée tandis que l'autre repose librement sur un appui.	217
172 Résistance transversale d'une pièce prismatique encastrée par ses deux extrémités.	219
173 Formules pratiques donnant le diamètre des tourillons.	222
174 Solides d'égale résistance.	222
175 Pièce soumise à une force appliquée en un point quelconque de sa longueur, et faisant avec sa direction un angle α	224
176 Résistance à la torsion.	225
177 Formules pratiques servant à déterminer les dimensions à donner aux pièces cylindriques soumises à un effort de torsion.	227
178 Arbre soumis à la fois à un effort de flexion et de torsion.	230
179 Dimensions d'un balancier.	230
180 Dimensions d'une manivelle.	231
181 Dents de roues d'engrenage.	232
182 Jantes de roues d'engrenage.	233
183 Bras de roues d'engrenage.	2

DEUXIÈME PARTIE.

Chaleur appliquée aux arts industriels.

Pouvoirs des corps pour la chaleur.

Numéros.	Pages.
184 Pouvoir émissif ou rayonnant.	235
185 Pouvoirs absorbant et réflecteur.	236
186 Pouvoirs conducteurs des corps pour la chaleur.	237

Évaluation des températures.

187 Thermomètres.	238
188 Pyromètre de Wedgwood. Pyromètre à air.	243
189 Tableau des températures de fusion de quelques corps.	244
190 Tableau des températures correspondant à différentes nuances lumineuses.	245

Dilatation.

191 Dilatation des solides par la chaleur.	245
Dilatation superficielle et dilatation cubique.	248
192 Dilatation des liquides par la chaleur.	248
193 Dilatation des gaz par la chaleur.	249
194 Effet de la température et de la pression sur le volume des gaz.	249

Chaleur spécifique.

195 Unité de chaleur.	250
196 Chaleur spécifique. Tableaux des chaleurs spécifiques de quelques corps.	250

Chaleur latente.

197 Chaleur latente de liquidité.	256
198 Chaleur latente de vaporisation.	256
199 Tableau des températures d'ébullition de quelques matières sous la pression atmosphérique.	258

Vapeurs.

200 Propriétés de la vapeur.	258
201 Relation entre la température et la force élastique de la vapeur d'eau.	259
202 Tableau donnant la tension de la vapeur d'eau à différentes températures; sa pression sur un centimètre carré en kilogrammes; sa densité, celle de l'eau étant 1; et le volume de 1 kilog. de vapeur.	260
203 Relation entre la densité de la vapeur d'eau et celle de l'air.	262
204 Mélange des gaz et des vapeurs.	263
205 Tableau du poids de la vapeur contenue dans un mètre cube d'air saturé à différentes températures, sous la pression atmosphérique 0 ^m ,76.	263

Numéros.	Pages.
206 Influence des matières dissoutes dans un liquide à vaporiser.	263
207 Tension des vapeurs autres que la vapeur d'eau.	265

Liquéfaction des gaz.

208 Liquéfaction des gaz.	265
-----------------------------------	-----

Sources de froid.

209 Tableau du froid produit par quelques mélanges frigorifiques.	266
210 Tableau des abaissements de température obtenus par M. Gay-Lussac, en faisant arriver un courant d'air desséché au chlorure de calcium sur un thermomètre dont la boule était recouverte d'une batiste humide.	267

Puissances calorifiques des combustibles.

211 Puissance calorifique d'un combustible. Tableaux des puissances calorifiques de quelques matières combustibles.	267
---	-----

Combustibles.

212 Combustibles.	270
213 Bois.	270
214 Charbon de bois.	272
215 Tannée.	274
216 Tourbe.	274
217 Charbon de tourbe.	275
218 Lignite, houille et anthracite.	275
219 Coke.	279

Air nécessaire à la combustion.

220 Quantité d'air nécessaire à la combustion.	280
221 Volume de gaz qui passe par la cheminée d'un foyer.	281

Cheminées.

222 Mouvement de l'air chaud dans un tuyau vertical.	283
223 Maximum de tirage des cheminées.	288
224 Dimensions des cheminées.	289
Application.	291
225 Cheminées communes à plusieurs foyers.	293
226 Température de l'air sortant du foyer, et perte de chaleur due à la température de l'air dans la cheminée.	293
227 Construction des cheminées.	294
228 Tirage produit par un ventilateur.	294
229 Tirage produit par un jet de vapeur.	295

Foyers.

230 Dimensions des différentes parties d'un foyer.	296
--	-----

Numéros.	Pages.
231 Combustion des gaz sortant d'un haut-fourneau.	297
Chaudières à vapeur.	
232 Transmission de la chaleur à travers les plaques métalliques.	298
233 Métaux employés à la fabrication des chaudières à vapeur.	299
234 Surface de chauffe des chaudières à vapeur.	300
235 Vapeur produite par un kilogramme de combustible.	301
236 Chaudières placées sur des fours à pudler, à réchauffer et à affiner.	302
237 Chaudières chauffées par les gaz des hauts-fourneaux.	303
238 Épaisseur théorique des chaudières à vapeur.	304
239 Ordonnances des 22 et 23 mai 1843, relatives aux appareils à vapeur.	304
240 Épaisseur pratique à donner aux chaudières à vapeur en tôle et en cuivre.	305
241 Épreuves des chaudières à vapeur.	307
242 Autorisation pour l'établissement des machines à vapeur et des chaudières à vapeur.	307
243 Soupapes de sûreté.	308
244 Manomètres.	311
245 Alimentation des chaudières à vapeur; indicateurs du niveau de l'eau dans ces chaudières.	313
246 Division des chaudières à vapeur en 4 catégories; emplacement des chaudières à vapeur.	314
247 Machines à vapeur employées dans l'intérieur des mines.	317
Distillation	
248 But de la distillation. Applications.	317
249 Condensation des vapeurs.	319
Évaporation.	
250 Évaporation spontanée à l'air libre.	320
251 Évaporation par courant d'air forcé.	320
252 Évaporation à l'air libre à l'aide d'un foyer.	321
253 Évaporation des liquides chauffés par la vapeur.	323
Séchage.	
254 Séchage à l'air libre.	324
255 Séchage produit par un courant d'air chauffé préalablement.	324
256 Séchage par l'air froid préalablement desséché.	327
257 Séchage des étoffes par le contact des surfaces métalliques.	327
Chauffage.	
258 Chauffage des appartements par les cheminées ordinaires.	328
259 Chauffage par des poêles.	328
260 Calorifères à air chaud.	329
261 Chauffage de l'air par la vapeur.	330

Numéros.	Pages.
262 Calorifères à eau chaude à basse pression.	331
263 Calorifères à eau chaude à haute pression.	332
264 Chauffage des liquides.	333
Chauffage des bains.	333
265 Chauffage des corps solides.	334
266 Perte de chaleur par les murailles d'habitation.	335
267 Perte de chaleur par les fenêtres.	336
268 Perte totale de chaleur par les murailles et les fenêtres.	337
269 Chaleur que doivent produire les appareils de chauffage.	337

Ventilation.

270 Air nécessaire à la respiration.	340
271 Air vicié par la transpiration.	340
272 Air vicié par l'éclairage.	341
273 Chaleur produite par la respiration.	341

Éclairage au gaz.

274 Éclairage au gaz.	342
-------------------------------	-----

Établissement des manufactures dites insalubres.

275 Décret du 15 octobre 1810 et ordonnance du roi du 14 janvier 1815.	344
--	-----

TROISIÈME PARTIE.**Machines à vapeur.**

276 Dénomination des machines à vapeur.	349
277 Travail théorique produit par un kilogramme de vapeur d'eau quand on ne fait pas usage de la détente.	350
278 Travail théorique produit par un kilogramme de vapeur d'eau quand on emploie la détente.	352

Machines à vapeur sans détente ni condensation.

279 Effet d'une machine à vapeur sans détente ni condensation.	353
280 Calcul des dimensions d'une machine à vapeur sans détente ni condensation.	355
281 Travail absorbé par l'alimentation d'une chaudière.	357

Machines à vapeur à condensation sans détente.

282 Effet d'une machine à vapeur à condensation sans détente.	357
---	-----

Numéros.	Pages.
283 Calcul des dimensions d'une machine à vapeur à condensation sans détente.	358
284 Quantité d'eau nécessaire à la condensation de la vapeur. Capacité du condenseur et de la pompe à air. Pompe de puits.	360

Machines à vapeur à détente sans condensation.

285 Effet d'une machine à vapeur à détente sans condensation.	362
286 Calcul des dimensions d'une machine à vapeur à détente sans condensation.	363

Machines à vapeur à détente et condensation.

287 Machines à deux cylindres, dites machines de Woolf.	365
288 Effet d'une machine à vapeur à détente et condensation.	366
289 Calcul des dimensions d'une machine à détente et condensation.	367
290 Emploi des vapeurs, autres que la vapeur d'eau, comme force motrice.	369
291 Notions sur le prix des machines à vapeur.	370

Bateaux à vapeur.

292 Force d'impulsion.	371
293 Travail moteur absorbé par la marche d'un bateau en une seconde.	373
294 Impulsion au moyen des roues à palettes.	373
295 Travail moteur absorbé par seconde pour communiquer la vitesse relative aux palettes.	374
296 Force de la machine d'un bateau recevant son impulsion au moyen de roues à palettes.	374
297 Rapport du travail utile au travail perdu.	374
298 Calcul de la force d'une machine de bateau.	376
Exemples de grands bâtiments à vapeur.	376
299 Consommation en charbon des machines de bateaux.	377
300 Travail moteur nécessaire pour faire remonter ou descendre une rivière par un bateau.	378
301 Bateau sur un canal.	378
302 Vitesse des bateaux à vapeur.	378
303 Poids des machines de bateaux.	378
304 Proportions des bateaux à vapeur et de leurs machines.	380
305 Tableau des dimensions des différentes parties des générateurs de quelques bateaux.	383

Extrait de l'ordonnance du 22 mai 1843,

relative aux bateaux à vapeur qui naviguent sur les fleuves et rivières.

306 Autorisation de navigation.	384
307 Épreuves des chaudières à vapeur. Épaisseur de ces chaudières.	385
308 Soupapes de sûreté.	386
309 Manomètres.	386

Numéros.	Pages.
310 Alimentation des chaudières à vapeur, et indication du niveau de l'eau dans ces chaudières.	386
311 Emplacement des appareils moteurs.	387
312 De l'installation des bateaux à vapeur, des agrès, des apparaux et des équipages.	387
313 Mesures diverses concernant le service des bateaux à vapeur.	388
314 Conduite du feu et des appareils moteurs.	389
315 Dispositions relatives aux passagers.	390

QUATRIÈME PARTIE.

Chemins de fer.

316 Coup d'œil historique.	393
317 Division des chemins de fer.	393
318 Chemins de fer de service ou de second ordre.	394

CHEMINS DE FER DE PREMIER ORDRE.

Etablissement de la voie.

319 Largeur de la voie.	395
320 Entre-voie.	395
321 Accotements.	395
322 Fossés, sentier le long des barrières, talus.	396
323 Ouverture et hauteur des ponts.	396
324 Pentes des routes aux abords des ponts.	397
325 Souterrains.	397
326 Superficies occupées par les gares et ateliers.	397
327 Chaussée sur déblai.	398
328 Chaussée sur remblai.	398
329 Chaussée sur un terrain marécageux.	398
330 Sable et pierres concassées.	399
331 Dés et traverses.	399
332 Coussinets.	400
333 Chevillettes.	403
334 Coins.	404
335 Rails.	405
336 Usure des rails.	409
337 Fabrication des rails.	409
338 Réception des rails.	411
339 Prix des rails.	412
340 Pose des rails.	412
341 Plaques tournantes.	413

Numéros.	Pages.
342 Chemins de fer à deux ou à une seule voie.	414
Waggon.	
343 Waggon de terrassement.	414
344 Waggon de service.	416
Résistance au mouvement des waggon.	
345 Résistance due au frottement des essieux.	419
346 Résistance due au frottement qui s'exerce au pourtour des roues.	419
347 Résistance que l'air oppose au mouvement des waggon.	420
348 Application.	422
349 Résistance totale à la traction, sur un chemin horizontal et en ligne droite.	422
350 Résistance totale à la traction, sur un chemin en pente et en ligne droite.	423
351 Résistance due aux courbes.	423
352 Résistance totale qui s'oppose au mouvement d'un waggon sur une courbe en pente.	423
353 Résultats des expériences faites sur le chemin de Roanne à Andreziéux, pour déterminer le frottement dû à la force centrifuge.	426
354 Moyens pour déterminer le frottement total d'un waggon	426
355 Expériences pour déterminer le frottement au pourtour des roues.	429
356 Tableau des résistances totales au mouvement, obtenues en lançant des waggon sur des plans diversement inclinés.	430
357 Plans automoteurs.	430
358 Charge que peut traîner un cheval sur un chemin de fer.	431
359 Machines fixes.	432
Machines locomotives.	
360 Machines locomotives.	432
361 Pression de la vapeur.	432
362 Adhérence des roues motrices sur les rails.	433
363 Eau évaporée dans une machine locomotive.	434
364 Théorie des machines locomotives.	434
365 Dimensions moyennes des parties principales des machines locomotives. Consommation moyenne de coke. Production moyenne de vapeur.	442
366 Service des machines locomotives.	447
367 Prix des machines locomotives.	447
368 Dispositions relatives à l'emploi des machines à vapeur, locomobiles et locomotives (extrait des ordonnances des 22 et 23 mai 1843).	449
Frais de construction et d'exploitation des chemins de fer.	
369 Considérations pécuniaires sur l'établissement d'un chemin de fer.	451
370 Division de la dépense d'exécution d'un chemin de fer.	451
371 Études.	452
372 Acquisition de propriétés. Indemnités.	452

Numéros.	Pages.
373 Terrassements. Percements de souterrains.	452
374 Ouvrages d'art.	452
375 Établissement de la voie.	452
376 Clôtures et barrières.	453
377 Bâtiments pour stations.	453
378 Ateliers de réparations et outillage.	454
379 Matériel pour l'exécution.	454
380 Matériel d'exploitation.	454
381 Tableau des prix d'exécution de différents chemins de fer, canaux et routes, par lieue de 4 kilomètres.	454
382 Tableau des frais de l'entretien annuel, par lieue, des chemins de fer, des canaux et des routes.	456
383 Différents modes de traiter de la compagnie d'un chemin de fer avec les entrepreneurs.	456
384 Tableau des frais de traction immédiate, par tonne, à un kilomètre, sur quelques chemins de fer.	457
385 Tableau du prix de revient total du transport, par tonne, à un kilomètre	458
386 Tableau des poids utiles et bruts traînés par une locomotive sur quelques chemins de fer, et rapports de ces poids.	458
387 Prix total du transport (locomotion, entretien et surveillance) par voyageur, à un kilomètre, sur quelques chemins de fer.	458
388 Transport sur plans automoteurs.	459
389 Transport sur plans inclinés au moyen de machines fixes.	459
390 Prix du transport sur caiaux.	459

CINQUIÈME PARTIE.

Architecture.

Ordres d'architecture.

391 Modulé.	461
392 Observations relatives aux tableaux suivants.	461
Tableaux des proportions des différentes moulures et membres de moulures qui composent les différents ordres.	462
393 Corniches des maisons d'habitation.	467

Épaisseurs des murs.

394 Formules empiriques données par Rondelet pour déterminer les épaisseurs des murs.	467
1° Murs d'enceintes non couvertes.	467
2° Murs isolés.	469
3° Murs circulaires.	470
4° Murs des bâtiments couverts d'un simple toit.	470

Numéros.	Pages.
5° Murs de maisons d'habitation.	471
Pans de bois et cloisons.	473
Appuis isolés.	473
305 Épaisseurs ordinaires des murs.	473
306 Espace occupé par les murs.	473

Dimensions des différentes parties d'un édifice.

397 Façade d'un édifice.	474
398 Division de la hauteur d'un bâtiment.	474
399 Arcades.	475
400 Frontons.	475
401 Portes et croisées.	475
402 Salles.	476
403 Galeries.	476
404 Salles à manger et tables, salles de billard, salons, chambres à coucher, etc.	477
405 Cheminées.	477
406 Escaliers.	478
407 Fourneaux potagers et fours à cuire le pain.	478
408 Cour.	479
409 Composition de quelques maisons d'habitation, et dimensions de leurs différentes pièces.	479
1° Maison de journalier à un simple rez-de-chaussée.	479
2° Maison de journalier avec rez-de-chaussée et un étage au-dessus.	479
3° Maison double de journalier, avec étage au-dessus et dépendances.	480
4° Maison d'éclusier.	480
5° Habitation et dépendances pour un petit cultivateur exploitant 2 à 3 hectares de terre.	481
6° Petite ferme (10 à 12 hectares de terre à froment).	481
7° Ferme (34 hectares de terre à froment).	483
8° Maison de ville.	484
9° Maison de campagne.	485
410 Bains.	486
411 Salle de spectacle.	487
412 Magasins à blé.	487
413 Écuries.	488
414 Étables.	489
415 Bergeries.	489
416 Porcheries.	490
417 Laiterie et colombier.	491
418 Granges. Volume et composition des récoltes.	491
419 Eau nécessaire dans une ferme.	493

Matériaux employés dans les constructions.

420 Classification géognostique des terrains composant l'écorce minérale du globe. !	493
--	-----

Numéros.	Pages.
421 Division des pierres naturelles en quatre classes.	495
422 Première classe.	495
423 Deuxième classe.	495
424 Troisième classe.	496
425 Quatrième classe.	496
426 Distinctions usitées entre les pierres de taille.	499
427 Briques.	500
428 Cuisson des briques.	501
429 Couleurs et qualités des briques.	504
430 Briques crues.	505
431 Carreaux en plâtre.	505
432 Terre employée comme mortier.	505
433 Plâtre, sa cuisson, son emploi.	506
434 Chaux, leurs espèces, leurs compositions.	507
435 Moyens de se procurer de la chaux hydraulique.	512
436 Chaux hydrauliques artificielles.	514
437 Cuisson de la chaux.	516
438 Extinction de la chaux.	522
439 Fabrication de la pouzzolane artificielle.	523
440 Fabrication de pouzzolane artificielle avec de la terre dolomitique.	526
441 Fabrication de pouzzolane artificielle en cuisant de la terre argilo-calcaire.	527
442 Fabrication de pouzzolane artificielle au moyen de sable de gneiss.	527
443 Sables et mortiers.	527
444 Béton.	532

Maçonneries.

445 Différentes espèces de maçonneries.	533
446 Maçonnerie de pisé.	534
447 Maçonnerie de pierre de taille.	535
448 Bossages et vermiculures.	536
449 Appareil.	537
450 Taille de la pierre.	537
451 Outils mis en usage pour la taille de la pierre.	538
452 Bardage, montage et pose de la pierre.	538
453 Maçonnerie de moellons.	540
454 Maçonnerie de meulière.	541
455 Maçonnerie de briques.	541
456 Chânes en pierre de taille, soubassement et baies de portes et croisées, dans les constructions en moellons.	542
457 Voûtes d'édifices.	543
458 Fondations des édifices.	545
459 Outils d'un maçon.	547

Pans de bois et cloisons.

460 Pans de bois et cloisons. Noms et dimensions des différentes pièces qui les composent.	548
--	-----

Planchers.	
Numéros.	Pages.
461 Planchers.	553
462 Positions que doivent occuper les différentes pièces d'une charpente de plancher par rapport aux âtres des cheminées, etc.	554
463 Dimensions des pièces de la charpente des planchers.	554
464 Pose du carrelage ou du parquet, et plafond.	558
Enduits.	
465 Enduits.	559
466 Corniches d'appartement et moulures de lambris.	560
467 Blanc en bourre.	561
468 Stucs	562
Combles.	
469 Combles	564
470 Fermes.	564
471 Noms des différentes pièces qui entrent dans la composition d'une ferme.	565
472 Dimensions des différentes pièces d'une ferme.	565
473 Calcul des dimensions des différentes pièces d'une ferme.	568
474 Poids et inclinaisons des toits.	574
475 Couvertures des édifices.	575
476 Tulles.	575
477 Ardoises.	576
478 Bardeaux.	578
479 Plomb.	578
480 Cuivre.	579
481 Tôle de fer.	579
482 Zinc.	579

SIXIÈME PARTIE.

Routes. Ponts. Canaux.

Routes.

483 Division des routes.	581
484 Composition d'une route.	581
485 Tableau des dimensions des différentes parties des routes.	582
486 Pente de la surface de la route.	582
487 Influence de la pente longitudinale des routes sur le tirage des voitures.	584
488 Direction d'une route.	584

Numéros.	Pages.
489 Considérations générales sur la détermination du point bas d'une chaîne de montagnes.	585
490 Tracé d'une route. Nivellement.	587
491 Côtes rouges. Points et lignes de passage.	593
492 Calculs des déblais et remblais.	594
493 Méthode expéditive pour calculer les déblais et remblais.	597
494 Méthode approximative pour calculer les déblais et remblais lors de l'étude du projet.	601
495 Calcul des déblais et remblais dans les parties courbes.	602
496 Évaluation des distances de transport.	602
497 Influence des pentes sur les distances du transport.	607
498 Exécution des fouilles.	609
499 Transport des terres :	
1° A la brouette.	610
2° Au camion.	611
3° Au tombereau.	613
4° Au bourriquet.	614
5° Par chemins de fer.	615
500 Construction des chaussées.	620
501 Construction d'une chaussée pavée.	620
502 Construction d'une chaussée en empierrement.	622
503 Chaussée sur un sol compressible ou mouvant.	624
504 Cassis.	625
505 Écharpes.	625
506 Fossés en gradins.	625
507 Entretien des routes pavées.	626
508 Entretien des routes en empierrement. Cantonniers.	627
Ponts.	
509 Diverses espèces de ponts.	628
Ponceaux.	
510 Ponceaux.	629
Ponts en pierre.	
511 Ponts en pierre.	632
512 Emplacement d'un pont.	632
513 Déhouché.	632
514 Remous.	634
515 Grandeur des arches.	635
516 Forme des arches.	636
517 Tracé des arches.	637
518 Formes des piles.	641
519 Appareil des voûtes, joints de rupture.	642
520 Dimensions des voûtes.	643
521 Épaisseur des voûtes à la clef.	648

Numéros.	Pages.
522 Épaisseur des pieds-droits.	649
523 Méthode graphique pour calculer la stabilité des voûtes.	650
524 Tracé de la courbe des pressions.	652
525 Tableaux des valeurs des angles de rupture pour différentes formes de voûtes.	653
526 Voûtes en arc de cercle extradossées parallèlement.	660
Glissement des voûtes en arc de cercle sur les joints de leurs naissances.	663
Voûtes en anses de panier.	664
527 Murs de soutènement.	664
528 Murs de revêtement.	668
Principe général de transformation d'un profil en un autre.	669
Épaisseur des batardeaux en maçonnerie.	670
Épaisseur des murs en pierres sèches.	671

Ponts en bois.

529 Ponts en charpente.	671
---------------------------------	-----

Ponts métalliques.

530 Ponts en métal.	672
-----------------------------	-----

Ponts suspendus.

531 Ponts suspendus.	672
532 Tension des chaînes.	673
533 Longueurs des tiges de suspension.	673
534 Longueur de la chaîne.	675
535 Piliers inégalement élevés.	676
536 Augmentation de la longueur de la chaîne et de la flèche, par suite de la dilatation et de la tension de la chaîne.	676
537 Sections des chaînes et des tiges.	677
538 Fabrication des chaînes et des tiges.	678
539 Piliers.	680
540 Massif d'amarrage.	682
541 Plancher.	684
542 Garde-corps.	685

Canaux.

543 Division des canaux.	685
----------------------------------	-----

Canal latéral.

544 Tracé.	685
545 Section transversale.	687
546 Alimentation.	687

Canal à point de partage.

547 Tracé.	688
548 Quantité d'eau à fournir à un canal.	689

Numéros.	Pages.
549 Évaporation.	689
550 Filtration.	689
551 Perte due aux portes d'écluses.	689
552 Perte due au passage d'un bateau.	689
553 Dépense due au remplissage du canal.	690
554 Construction des sas.	691
555 Portes d'écluses.	693
556 Fondations.	696
557 Épaisseur du radier.	697

SUPPLÉMENT.

558 Nomenclature des anciennes mesures.	698
559 Nomenclature des nouvelles mesures.	699
560 Tables de réduction des anciennes mesures en nouvelles, et réciproquement.	701
561 Table de comparaison des mesures anglaises aux mesures françaises.	707
562 Conversion des mesures anglaises en mesures françaises.	709
563 Évaluations, en mesures françaises, des principales mesures linéaires étrangères à l'usage du commerce.	709
564 Réduction des principales mesures linéaires étrangères en mesures métriques.	711

FAUTES A CORRIGER.

Pages. Lignes.

- 6 2, E par $\frac{1}{2} t^2$, lisez : E par $\frac{1}{2} \bar{t}^2$
- 19 7, Oxygène 1,1057, lisez : Oxygène 1,1026
- 36 9, $l=0,06-0,50=0,01$, lisez : $l=0,06-0,05=0,01$
- 83 18, pente par mètre, lisez : I pente par mètre
- 129 11, entre $\frac{1}{2}$ et $\frac{2}{3}$, lisez : entre $\frac{1}{3}$ et $\frac{2}{3}$
- 147 6 en remontant, plonge de 1,3, lisez : plonge de $\frac{1}{3}$
- 151 21, $Q=Kl1,92\pi rV''$, lisez : $Q=Kl1,92\pi r\sin\beta V''$
- 192 1 en remontant, $T_m=T_u+T$, lisez : $T_m=T_u+Tr$
- 208 1 en remontant, côté du carré, lisez : q côté du carré
- 209 6, e, lisez : et
- 263 12 en remontant, 63,63, lisez : 72,39
- 272 19, pour livrer le stère a $1^m,00$, lisez : pour livrer le stère a $2^m,00$
- 343 9 en remontant, channel-coal, lisez : cannel coal
- 344 17, du 14 janvier, lisez : 14 janvier 1815
- 377 2 en remontant, M. Champaignac, lisez : M. Campaignac.
- 380 16 id. id. id. id.
- 440 8, $\frac{1}{(1+\delta)(K\pm)}$, lisez : $\frac{1}{(1+\delta)(K\pm\sin\alpha)}$
- 441 11 en remontant, $\pm(M+m)\sin$, lisez : $\pm(M+m)\sin\alpha$
- 484 4 id. , lisez : H'
- 569 7 id. 50 000, lisez : 500 000
- 639 11, et di parallèle, lisez : et li parallèle
- 639 13, de l'autre côté de cd, lisez : de l'autre côté de cl

FORMULES,

TABLES ET RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

A L'USAGE

DES INGÉNIEURS, DES ARCHITECTES, ETC.

PREMIÈRE PARTIE.

Effet des moteurs naturels animés et inanimés,
sur les machines.

DÉFINITIONS ET PRINCIPES.

1. *Observations.* Dans ce qui va suivre, à moins qu'on n'exprime le contraire :

- Les longueurs sont exprimées en mètres ;
- Les surfaces, en mètres carrés ;
- Les volumes, en mètres cubes ;
- Les forces, en kilogrammes ;
- Les vitesses, en mètres parcourus par seconde ;
- Les temps, en secondes ;
- Les quantités de travail, en kilogrammètres (19).
- $g = 9,8088$ (7) ;
- $\pi = 3,1415926$, ou à peu près 3,14 ; c'est le rapport approché de la circonférence au diamètre ;
- Un nombre placé entre parenthèses () indique un n° d'ordre à consulter.

2. Une *force* est la cause qui imprime le mouvement à un corps, ou qui modifie celui qu'il possède : il peut cependant arriver qu'une force agissant sur un corps, ne change pas l'état de ce corps ; mais c'est qu'alors, d'autres causes, d'une puissance égale à cette force, détruisent son effet.

3. Le mouvement d'un corps est dit *uniforme*, quand la vitesse reste constante pendant toute la durée du mouvement; c'est-à-dire, quand les espaces parcourus en temps égaux quelconques sont égaux. On a la relation

$$E = vt.$$

E espace parcouru pendant le temps t ;
 v vitesse;
 t durée du mouvement.

4. Le mouvement d'un corps est dit *varié*, quand la vitesse varie pendant la durée du mouvement; alors la relation (3) n'existe plus.

5. Le mouvement *périodique constant* est celui dans lequel, la vitesse, variable à chaque instant, reprend la même valeur après des temps égaux qu'on nomme durée de la période. On a

$$E = vt.$$

E espace parcouru pendant le temps t ;
 v vitesse moyenne, ou espace parcouru pendant une période divisé par la durée de la période;
 t durée d'un nombre entier de périodes.

6. Le mouvement d'un corps est *uniformément accéléré*, quand la vitesse, variable à chaque instant, est proportionnelle au temps; et l'espace parcouru, au carré du temps. Supposant que le corps parte du repos, on a les relations :

$$V = vt \text{ et } E = \frac{1}{2} vt^2.$$

V vitesse acquise par le corps après le temps t ;
 v accélération de vitesse, ou vitesse acquise par le corps après la première seconde de son mouvement; elle est égale au double de l'espace parcouru pendant la première seconde du mouvement, ou encore à l'espace que parcourrait le corps pendant la deuxième seconde, s'il se mouvait avec une vitesse constante v ;
 t durée du mouvement;
 E espace parcouru après le temps t .

7. La pesanteur ou l'attraction terrestre agit indistinctement sur toutes les particules matérielles qui composent les corps, et fait prendre à un corps quelconque qui tombe dans le vide, un mouvement uniformément accéléré, dans lequel l'accélération de vitesse, que l'on désigne par g , varie avec la distance du lieu où

l'on se trouve au centre de la terre; à Paris on a $g = 9^m,8088$. Pour le cas de la pesanteur les formules (6) deviennent :

$$V = gt \text{ et } E = \frac{1}{2} gt^2.$$

Si le corps a parcouru un certain espace, et possède une certaine vitesse initiale avant qu'on considère son mouvement, on a, après le temps t :

$$V = v + gt \text{ et } E = E' + vt + \frac{1}{2} gt^2.$$

V vitesse acquise par le corps qui tombe, après le temps t ;
 v vitesse initiale;
 t temps pendant lequel on considère le mouvement;
 E espace total parcouru;
 E' espace parcouru avant qu'on considère le mouvement;
 vt espace parcouru, pendant le temps t , sous l'influence de la vitesse initiale v ;
 $\frac{1}{2} gt^2$ espace parcouru, dû à l'accélération de vitesse g .

8. Le mouvement est *uniformément retardé*, quand la force, au lieu d'agir dans la direction du mouvement primitif du corps, agit en sens contraire; c'est ce qui a lieu pour l'action de la pesanteur sur un corps lancé de bas en haut. Les formules (7) deviennent alors :

$$V = v - gt \text{ et } E = E' + vt - \frac{1}{2} gt^2.$$

9. Il est à remarquer que pour un mouvement uniformément accéléré ou retardé quelconque, on a des formules analogues aux précédentes (7 et 8), et qu'en général on a pour le mouvement uniformément accéléré :

$$V = v' + vt \text{ et } E = E' + v't + \frac{1}{2} vt^2,$$

et pour le mouvement uniformément retardé :

$$V = v' - vt \text{ et } E = E' + v't - \frac{1}{2} vt^2.$$

V, E, E', t , ont les mêmes significations qu'au n° (7);
 v' vitesse initiale, ou vitesse que possède le corps au moment où l'on commence à considérer son mouvement;
 v vitesse accélératrice.

10. *Travail produit par une force.* Si une force agissant sur un obstacle, le laisse constamment en repos, elle ne produira aucun effet, c'est-à-dire, aucun travail; mais si elle lui fait parcourir un certain espace, elle produira un travail proportionnel à la résistance que cet obstacle oppose à se mouvoir dans la direction propre de son mouvement, et à l'espace parcouru; c'est-à-dire qu'on aura

$$T = RE.$$

T travail produit;
R résistance vaincue;
E espace parcouru.

11. Le *poids* d'un corps est le résultat de l'action de la pesanteur sur toutes les particules matérielles de ce corps; d'où il résulte que la résistance à vaincre pour élever un corps à une certaine hauteur, est le poids de ce corps, et que le travail produit est

$$T = PH.$$

T travail produit;
P poids du corps;
H hauteur à laquelle le corps a été élevé.

12. La *masse* d'un corps est la quantité de matière de ce corps.

13. *Relations entre les forces, les masses et les vitesses.* On dit que deux forces sont égales, lorsqu'elles sont capables d'imprimer le même mouvement à une même masse; et que deux masses sont égales, lorsque deux forces égales leur impriment le même mouvement. De là on conclut :

1° Que pour une même accélération de vitesse, les forces sont proportionnelles aux masses, et qu'on a

$$F : f :: M : m.$$

F l'une des forces;
f l'autre force;
M masse sollicitée par la force F;
m masse sollicitée par la force f.

2° Que pour une même masse, les forces sont proportionnelles aux accélérations de vitesse, et qu'on a

$$F : f :: V : v.$$

V accélération de vitesse due à la force F;
v accélération de vitesse due à la force f.

3° Que deux forces quelconques sont entre elles comme les produits des masses qu'elles sollicitent par les accélérations de vitesse qu'elles leur communiquent, et qu'on a

$$F : f :: MV : mv.$$

En appelant unité de force, la force *f*, laquelle, appliquée à l'unité de masse *m*, lui communique l'unité de vitesse *v*; on conclut de cette dernière proportion,

$$F = MV.$$

Pour le cas de la pesanteur cette formule devient

$$P = Mg,$$

d'où l'on tire

$$M = \frac{P}{g}.$$

14. *MV*, produit de la masse par la vitesse, prend le nom de *quantité de mouvement*.

15. Outre la manière de représenter le travail produit par une force (10 et 11), on le représente encore par l'intensité de cette force, multipliée par l'espace parcouru par le point d'action dans la direction de la force, ce qui donne :

$$T = FE.$$

T travail produit;
F intensité de la force;
E espace parcouru par le point d'application de la force dans la direction de cette force.

16. Remplaçant dans la formule précédente, F en fonction de la masse et de l'accélération de vitesse (13), et E en fonction de l'accélération de vitesse et du temps (6); c'est-à-dire,

$$F \text{ par } M \frac{V}{t},$$

t temps après lequel la force F a communiqué à la masse M, la vitesse V;
V accélération de vitesse;

6

PREMIÈRE PARTIE.

et

$$E \text{ par } \frac{1}{2} t^2 = \frac{Vt}{2},$$

on a

$$T = \frac{MV^2}{2}.$$

MV^2 , produit de la masse par le carré de la vitesse, est ce qu'on appelle *force vive*.

La formule précédente confirme le principe des forces vives, qui consiste en ce que, d'un instant à un autre du mouvement variable d'une masse, *le gain ou la perte de force vive est toujours double de la différence des quantités d'action que peut restituer la masse aux deux instants considérés*; différence qui est une augmentation ou une diminution suivant que la vitesse a augmenté ou diminué. Cette propriété de la masse, sur laquelle est fondé l'usage des volants, joue le plus grand rôle dans les machines.

17. Dans les applications, on fait usage de la dernière forme (16) donnée au travail; seulement, pour plus de commodité, on remplace la masse en fonction du poids (13), ce qui donne

$$T = \frac{PV^2}{2g}.$$

18. Le travail T , produit par une force, prend indifféremment les noms de *travail mécanique*, *quantité d'action*, *effet dynamique*.

19. Pour comparer entre eux les travaux produits par les forces, on a adopté une unité de travail, appelée *kilogrammètre*, que l'on représente par $1 \text{ kilg} \cdot \text{m}$ ou $1 \text{ k} \cdot \text{m}$, ou encore 1 km ; c'est le travail dépensé pour élever un poids de 1 kilogramme à 1 mètre de hauteur.

Comme dans les machines on a généralement à évaluer des quantités de travail considérables, on a adopté une autre unité de travail, appelée *cheval-vapeur*, et qui est égale à $75 \text{ k} \cdot \text{m}$ produits par seconde; c'est plus que ne donne un cheval vivant, comme on le voit par le tableau (20). On fait encore usage d'une autre unité, appelée *grande unité dynamique*, et qui est égale à $1000 \text{ k} \cdot \text{m}$.

20. TABLEAU des quantités de travail moyennes et journalières produites par les moteurs animés dans différentes circonstances.

NATURE DU TRAVAIL.	POIDS élevé ou effort moyen exercé.	VITESSE par seconde.	TRAVAIL par seconde.	DURÉE du travail journalier.	QUANTITÉ de travail journalière.
1° ÉLÉVATION VERTICALE DES POIDS.	kilog.	mètres.	k.m.	heures.	k.m.
Un homme montant une rampe douce ou un escalier, sans fardeau, son travail consistant dans l'élévation du poids de son corps.	65	0.15	9.75	8	280 800
Un manœuvre élevant des poids avec une corde et une poulie, ce qui l'oblige à faire descendre la corde à vide.	18	0.20	3.6	6	77 760
Un manœuvre élevant des poids en les soulevant avec la main. . . .	20	0.17	3.4	6	73 440
Un manœuvre élevant des poids en les portant sur son dos au haut d'une rampe douce ou d'un escalier, et revenant à vide.	65	0.04	2.6	6	56 160
Un manœuvre élevant des matériaux avec une brouette en montant une rampe au 1/12, et revenant à vide.	60	0.02	1.2	10	43 200
Un manœuvre élevant des terres à la pelle à la hauteur moyenne de 1 ^m ,60.	2,7	0.40	1.08	10	38 880
2° ACTION SUR LES MACHINES ET OUTILS.					
Un manœuvre agissant sur une roue à cheilles ou à tambour :					
1° Au niveau de l'axe de la roue. .	60	0.15	9	8	259 200
2° vers le bas de la roue ou à 24°. .	12	0.70	8.4	8	241 920
Un manœuvre marchant et poussant ou tirant horizontalement d'une manière continué.	12	0.60	7.2	8	207 360
Un manœuvre agissant sur un manivelle.	8	0.75	6	8	172 800
Un manœuvre exercé poussant et tirant alternativement dans le sens vertical.	6	0.75	4.5	10	162 000
Un cheval attelé à une volture et allant au pas.	70	0.90	63	10	2 168 000

NATURE DU TRAVAIL.	POIDS élevé ou effort moyen exercé.	VITESSE par seconde.	TRAVAIL par seconde.	DURÉE du travail journalier.	QUANTITÉ de travail journalière.
	kilog.	mètres.	k-m.	heures.	k-m.
Un cheval attelé à une voiture et allant au trot.	44	2.20	96.8	4.5	1 568 160
Un cheval attelé à un manège et allant au pas.	45	0.90	40.5	8	1 166 400
Un cheval attelé à un manège et allant au trot.	30	2.00	60	4.5	972 000
Un bœuf attelé à un manège et allant au pas.	60	0.60	36	8	1 036 800
Un mulet attelé à un manège et allant au pas.	30	0.90	27	8	777 600
Un âne attelé à un manège et allant au pas.	14	0.80	11.2	8	322 560
3° TRANSPORT HORIZONTAL DES POIDS.					
Un homme marchant sur un chemin horizontal, sans fardeau, son travail consistant dans le transport du poids de son corps. . .	65	1.50	97.5	10	3 510 000
Un manœuvre transportant des matériaux dans une petite charrette ou camion à deux roues, et revenant à vide chercher de nouvelles charges.	100	0.50	50	10	1 800 000
Un manœuvre transportant des matériaux dans une brouette; et revenant à vide chercher de nouvelles charges.	60	0.50	30	10	1 080 000
Un homme voyageant en transportant des fardeaux sur son dos. .	40	0.75	30	7	756 000
Un manœuvre transportant des matériaux sur son dos, et revenant à vide chercher de nouvelles charges.	65	0.50	32.5	6	702 000
Un manœuvre transportant des fardeaux sur une civière, et revenant à vide chercher de nouvelles charges.	50	0.33	16.5	10	594 000
Un manœuvre employé à jeter de la terre au moyen de la pelle, à 4 mètres de distance horizontale .	2.7	0.68	1.8	10	64 800
Un cheval transportant des fardeaux sur une charrette, et marchant au pas continuellement chargé.	700	1.10	770	10	27 720 000

NATURE DU TRAVAIL.	POIDS élevé ou effort moyen exercé.	VITESSE par seconde.	TRAVAIL par seconde.	DURÉE du travail journalier.	QUANTITÉ de travail journalière.
	kilog.	mètres.	k-m.	heures.	k-m.
Un cheval attelé à une voiture, et marchant au trot continuellement chargé.	350	2.20	770	4.5	12 474 000
Un cheval transportant des fardeaux sur une charrette, au pas, et revenant à vide chercher de nouvelles charges. . .	700	0.60	420	10	15 120 000
Un cheval chargé sur le dos et allant au pas.	120	1.10	132	10	4 752 000
Un cheval chargé sur le dos et allant au trot.	80	2.20	176	7	4 435 000

21. Les résultats de la troisième partie de ce tableau expriment des effets utiles proprement dits; c'est-à-dire que les poids des machines ou outils qui ont servi au transport, ne sont pas compris dans les nombres qui indiquent les charges traînées; de plus, ces résultats supposent les routes d'une viabilité ordinaire.

22. Les moteurs animés peuvent faire varier, dans de certaines limites, l'effort produit, la vitesse, et la durée du travail journalier; mais l'expérience prouve qu'un tel moteur fournit le maximum d'effet journalier: 1° quand l'effort qu'il produit varie du 1/3 au 1/5 de celui qu'il pourrait produire, sans vitesse, pendant un temps peu prolongé; 2° quand la vitesse varie du 1/4 au 1/6 pour l'homme, et du 1/12 au 1/15 pour le cheval, de la vitesse que ces moteurs pourraient prendre, pendant un temps peu prolongé, en ne produisant aucun effort; 3° quand la durée du travail journalier varie de la 1/2 au 1/3 du temps le plus prolongé pendant lequel le travail peut être constamment soutenu, sans nuire à la santé de l'homme ou des animaux; ce temps ne peut dépasser dix-huit heures par jour, quelque petite que soit la tâche journalière; ne consisterait-elle qu'en une présence constante sur les ateliers.

23. Le tableau suivant qui donne le rapport de l'effort de tirage à la charge traînée, voiture comprise, sur les différentes espèces de chemins, permet de comparer l'effet utile produit par les moteurs

animés dans le transport horizontal des fardeaux sur ces chemins, au travail dépensé par ces moteurs. Ce tableau, extrait de *l'Introduction à la mécanique industrielle* de M. Poncelet, est le résultat des expériences de MM. Boulard, Rumford, Régnier et de quelques autres observateurs.

NATURE DE LA VOIE SUPPOSÉE HORIZONTALE.	RAPPORT du tirage à la charge totale.
Terrain naturel, non battu et argileux, mais sec.	0.250
<i>Id.</i> <i>id.</i> siliceux et crayeux.	0.165
Terrain ferme battu et très-uni.	0.040
Chaussée en sable ou cailloutis nouvellement placés.	0.125
<i>Id.</i> en empierrement, à l'état d'entretien ordinaire.	0.080
<i>Id.</i> <i>id.</i> parfaitement entretenue et roulante.	0.033
<i>Id.</i> pavée à la manière ordinaire, et la voiture étant suspendue.	0.030
	0.070
<i>Id.</i> pavée en carreaux de grès bien entretenus.	0.025
	0.060
<i>Id.</i> en madriers de chêne non rabotés.	0.022
Chemins à ornières plates, en fonte de fer, ou en dalles très-dures et très-unies.	0.010
Chemins de fer à ornières saillantes, en bon état d'entretien.	0.007
<i>Id.</i> <i>id.</i> parfaitement entretenues, et les essieux continuellement huilés.	0.005

Le poids de la voiture varie ordinairement entre le 1/3 et le 1/4 de la charge totale.

24. Le tableau suivant donne les poids maximums des différentes voitures, charges comprises, tels qu'ils ont été consignés dans le projet de loi sur la police du roulage, présenté à la Chambre des Pairs, et adopté par elle dans sa séance du 15 février 1844.

1° VOITURES DE ROULAGE A DEUX ROUES.					
LARGEUR des jantes.	NON SUSPENDUES et allant au pas.		SUSPENDUES sur ressorts métalliques et allant au trot.	OBSERVATIONS.	
	du 20 novem. au 1 ^{er} avril.	du 1 ^{er} avril au 20 novem.	En toutes saisons.		
m.	kilog.	kilog.	kilog.		
0.06	1300	1500	1400	Lorsque le diamètre des roues aura 1 ^m ,85 et au-dessus, il sera ajouté 200 kilog. aux poids de ce tableau.	
0.07	1900	2200	2000		
0.08	2200	2600	2300		
0.09	2500	2900	2600		
0.10	2800	3300	2900		
0.11	3100	3600	3200		
0.12	3400	4000			
0.14	4000	4600			
0.17	4800	5600			
2° VOITURES DE ROULAGE A QUATRE ROUES.					
0.06	1800	2100	2000		Lorsque le diamètre des roues aura 1 ^m ,00 pour l'avant-train et 1 ^m ,65 au moins pour l'arrière-train, il sera ajouté 300 kilog. aux poids de ce tableau.
0.07	3100	3600	3200		
0.08	3600	4200	3700		
0.09	4000	4800	4200		
0.10	4500	5200	4700		
0.11	5000	5800	5200		
0.12	5500	6400			
0.14	5900	6800			
0.17	6700	7800			
3° DILIGENCES, MESSAGERIES, ETC., suspendues sur ressorts métalliques et allant au trot.					
	à deux roues, en toutes saisons.	à 4 roues, en toutes saisons.			
0.06	1000	2000			
0.07	1500	3000			
0.08	1750	3500			
0.09	2000	4000			
0.10	2250	4500			

Il est accordé une tolérance de 0^m,005 sur la largeur des bandes des roues, lorsque cette largeur sera de 0^m,12 et au-dessous, et une tolérance de 0^m,01 sur les largeurs de 0^m,14 à 0^m,17. Il est en outre accordé une tolérance de 200 kilog. sur le poids des voitures.

25. TABLEAU des rapports de la force de tirage à la charge

DÉSIGNATION DE LA ROUTE PARCOURUE par la voiture,	VALEURS	AFFUTS et charrettes d'artillerie.
	de λ = r = r' = r'' = fr =	0 ^m .10 à 0 ^m .12 0 ^m .038 0 ^m .782 0 ^m .782 0 ^m .00247
Accotement en terre, en très-bon état, à peu près sec.		0.029
Accotement solide recouvert d'une couche de gravier de 0 ^m .03 à 0 ^m .04 d'épaisseur.		0.073
Accotement solide recouvert d'une couche de gravier de 0 ^m .05 à 0 ^m .06 d'épaisseur.		0.086
Sol en terre ferme recouvert de 0 ^m .10 à 0 ^m .15 de gravier, ou route neuve.		0.092
Accotement ou route couverte de neige non frayée.		0.054
Sol en terre ferme, recouvert d'une couche de sable fin mêlé de gravier de 0 ^m .10 à 0 ^m .15 d'épaisseur.		0.098
Route en empierrement	en très-bon état, très-sèche et très-unie.	p. 0.016 t. 0.020
	un peu humide ou couverte de poussière, avec quelques cailloux à fleur du sol.	0.022
	très-solide, avec gros cailloux à fleur du sol.	0.018
	solide, avec frayé léger et boue molle.	0.029
	solide, avec ornières et boue.	0.035
	avec détritits et boue épaisse.	0.041

totale traînée, d'après les expériences de M. Morin.

CHARIOTS d'artillerie.	CHARIOTS comtois.	VOITURES DE ROULAGE.		CHARRETTES.		DILIGENCES des grandes Messageries.	VOITURES à bancs suspendus.
		0 ^m .070 à 0 ^m .075	0 ^m .06 à 0 ^m .07	0 ^m .10 à 0 ^m .12	0 ^m .10 à 0 ^m .12		
0 ^m .038	0 ^m .027	0 ^m .032	0 ^m .032	0 ^m .032	0 ^m .032	0 ^m .032	0 ^m .027
0 ^m .375	0 ^m .625	0 ^m .450	0 ^m .55	0 ^m .80	1 ^m .00	r' + r'' =	0 ^m .45
0 ^m .780	0 ^m .725	0 ^m .750	0 ^m .85			1 ^m .15	0 ^m .70
0.00247	0.00175	0.00208	0.00208	0.00208	0.00208	0.00208	0.00175
0.033	0.032	0.037	0.031	0.028	0.022	p. t. 0.038	p. t. 0.038
0.085	0.084	0.095	0.081	0.071	0.057	p. t. 0.099	p. t. 0.099
0.099	0.099	0.112	0.096	0.084	0.067	p. t. 0.116	p. t. 0.116
0.107	0.106	0.120	0.103	0.090	0.071	p. t. 0.125	p. t. 0.125
0.062	0.061	0.070	0.060	0.053	0.042	0.073	»
0.123	0.112	0.127	0.109	0.095	0.076	p. t. 0.133	p. t. 0.145
						p. 0.021	p. 0.020
0.018	0.017	0.020	0.017	0.015	0.012	t. 0.024	t. 0.024
						g. t. 0.025	g. t. 0.025
0.026	0.024	0.028	0.024	0.021	0.017	p. 0.030	p. 0.029
						t. 0.037	t. 0.037
						g. t. 0.041	g. t. 0.041
0.021	0.020	0.023	0.020	0.018	0.014	p. 0.025	p. 0.024
						t. 0.038	t. 0.037
						g. t. 0.044	g. t. 0.044
0.033	0.032	0.037	0.031	0.028	0.022	t. 0.038	t. 0.038
						p. 0.046	p. 0.045
						g. t. 0.050	g. t. 0.049
						p. 0.048	p. 0.047
0.041	0.040	0.045	0.039	0.034	0.027	t. 0.054	t. 0.054
						g. t. 0.058	g. t. 0.058
						p. 0.056	p. 0.055
0.048	0.047	0.053	0.046	0.040	0.032	t. 0.063	t. 0.063
						g. t. 0.067	g. t. 0.067

DÉSIGNATION DE LA ROUTE PARCOURUE par la voiture.	VALEURS	AFFUTS et charrettes d'artillerie.
	de	
	$l =$	$0^m.10 \text{ à } 0^m.12$
	$r =$	$0^m.038$
	$r' =$	$0^m.782$
	$r'' =$	$0^m.782$
	$f r =$	$0^m.00247$
Routes en empierrement	très-dégradée, ornières profondes de $0^m.06$ à $0^m.08$, boue épaisse.....	0.054
		très-mauvaise, ornières profondes de $0^m.10$ à $0^m.12$, boue épaisse, fond dur et inégal.....	0.061
Pavé en grès de Sierck serré.....		0.012
Pavé en grès de Fontainebleau	ordinaire sec.....	0.013
	en état ordinaire, mouillé et couvert de boue.....	0.017
Tablier de pont en madriers.....		0.018

- l largeur de la jante;
- r rayon des essieux;
- r' rayon des petites roues;
- r'' rayon des grandes roues;
- f coefficient de frottement de l'essieu;

CHARIOTS d'artillerie.	CHARIOTS comlois.	VOITURES DE ROULAGE.		CHARRETTES.		DILIGENCES des grandes Messageries.	VOITURES à bancs suspendus.
		$0^m.10 \text{ à } 0^m.12$	$0^m.10 \text{ à } 0^m.12$	$0^m.10 \text{ à } 0^m.12$	$0^m.10 \text{ à } 0^m.12$		
$0^m.070 \text{ à } 0^m.075$	$0^m.06 \text{ à } 0^m.07$	$0^m.10 \text{ à } 0^m.12$	$0^m.10 \text{ à } 0^m.12$	$0^m.10 \text{ à } 0^m.12$	$0^m.10 \text{ à } 0^m.12$	$0^m.10 \text{ à } 0^m.12$	$0^m.07 \text{ à } 0^m.08$
$0^m.038$	$0^m.037$	$0^m.032$	$0^m.032$	$0^m.032$	$0^m.032$	$0^m.032$	$0^m.027$
$0^m.875$	$0^m.825$	$0^m.450$	$0^m.55$	$0^m.80$	$1^m.00$	$r' + r'' =$	$0^m.45$
$0^m.780$	$0^m.725$	$0^m.750$	$0^m.85$			$1^m.15$	$0^m.70$
0.00247	0.00175	0.00208	0.00208	0.00208	0.00208	0.00208	0.00175
0.063	0.063	0.070	0.060	0.053	0.042	$p. 0.073$	$p. 0.072$
						$t. 0.081$	$t. 0.080$
0.070	0.069	0.079	0.067	0.059	0.047	$g. t. 0.085$	$g. t. 0.084$
						$p. 0.082$	$p. 0.081$
0.014	0.013	0.016	0.013	0.012	0.09	$t. 0.095$	$t. 0.100$
						$p. 0.016$	$p. 0.016$
0.015	0.014	0.017	0.014	0.012	0.010	$t. 0.024$	$t. 0.024$
						$g. t. 0.028$	$g. t. 0.027$
0.020	0.019	0.022	0.019	0.016	0.013	$p. 0.017$	$p. 0.017$
						$t. 0.026$	$t. 0.026$
0.021	0.020	0.023	0.020	0.014	0.014	$g. t. 0.031$	$g. t. 0.030$
						$p. 0.023$	$p. 0.022$
						$t. 0.030$	$t. 0.030$
						$g. t. 0.034$	$g. t. 0.033$
						$p. t. 0.024$	$p. t. 0.024$

- $f r$ moment du frottement de l'essieu;
- $p.$ signifie au pas;
- $t.$ *id.* au trot;
- $g. t.$ *id.* au grand trot;
- $p. t.$ *id.* au pas et au trot;

26. *TABEAU des efforts qu'un manœuvre de force ordinaire peut exercer pendant un court intervalle de temps, en agissant sur différents outils.* (Extrait de l'Aide-Mémoire de M. Morin.)

DÉSIGNATION DES INSTRUMENTS.	EFFORTS en kilogrammes.
Une plane.	45
Une tarière avec les deux mains.	45
Une clef d'écrou.	38
Un étau ordinaire en agissant sur la clef.	33
Un ciseau ou un foret dans le sens vertical.	33
Une manivelle	30
Une tenaille ou une pince, en agissant par compression.	27
Un rabot à main.	23
Un étau à main.	20
Une scie à main	16
Un vilbrequin	7
Un petit tournevis, ou en tournant avec le pouce et les doigts.	6

PESANTEURS SPÉCIFIQUES.

27. La *densité* ou la *pesanteur spécifique*, ou encore le *poids spécifique* d'un corps, est le poids de l'unité de volume de ce corps ; ainsi on a

$$d = \frac{P}{V},$$

d'où l'on tire

$$P = Vd.$$

d densité ;
P poids du corps en kilogrammes ;
V volume du corps en décimètres cubes.

Le poids d'un décimètre cube d'eau distillée, à son maximum de densité, c'est-à-dire, à la température de 4°, étant 1 kil., la densité de cette eau est égale à un, et la densité d'un corps quelconque exprime combien un décimètre cube de ce corps pèse de kilogrammes.

En pratique, on peut, sans inconvénient, supposer que la densité de l'eau ordinaire est égale à l'unité, au lieu de 0,9987 qu'elle est moyennement dans nos climats ; et de plus, aux températures ordi-

naires de l'atmosphère, on peut, sans erreur sensible, négliger l'effet de la dilatation sur la valeur de la densité des corps.

Pour les gaz et les vapeurs, on prend pour unité de densité, la densité de l'air à la température de 0° et sous la pression atmosphérique de 0^m,76 de mercure.

Par rapport à l'eau, la densité de l'air, à 0° et sous la pression 0^m,76, est $\frac{1}{770} = 0,001299$; et par rapport au mercure, elle est $\frac{1}{10366} = 0,000096$.

28. *TABEAU des densités de quelques corps.*

SOLIDES.				
DÉSIGNATION DES CORPS.	DENSITÉS.	DÉSIGNATION DES CORPS.	DENSITÉS.	
Platine	Laminé.	22.0690	Cobalt fondu.	7.8119
	Passé à la filière.	21.0417	Fer en barre.	7.7880
	Forgé.	20.3366	Étain fondu.	7.2914
	Purifié.	19.5000	Fer fondu.	7.2070
Or	Forgé.	19.3617	Zinc fondu.	6.8610
	Coulé.	19.2581	Antimoine fondu.	6.7120
Tungstène.	17.0000	Tellure	6.1150	
Mercure.	13.5080	Chrome	5.0000	
Plomb fondu.	11.3523	Iode.	4.9480	
Palladium.	11.3000	Spath pesant.	4.4300	
Rhodium.	11.0000	Jargon de Ceylan.	4.4161	
Argent fondu.	10.4743	Rubis oriental.	4.2833	
Bismuth fondu.	9.8220	Topaze orientale.	4.0107	
Cuivre en fil.	8.8785	Saphir oriental.	3.9941	
Cuivre rouge fondu.	8.7880	Topaze de Saxe.	3.5640	
Molybdène.	8.6110	Bénil oriental.	3.5480	
Arsenic.	8.3080	Diamants les plus lourds, légèrement colorés en rose.	3.5310	
Nikel fondu.	8.2790	Diamants les plus légers.	3.5010	
Urane.	8.1000	Flint-glass anglais.	3.3203	
Acier non écroui.	7.8163			

DÉSIGNATION DES CORPS.	DENSITÉS.	DÉSIGNATION DES CORPS.	DENSITÉS.
Spath fluor rouge.	3.1911	Anthracite.	1.8000
Tourmaline verte.	3.1555	Alum.	1.7200
Saphir du Brésil.	3.1308	Houille compacte	1.3292
Asbeste roide.	2.9958	Jals.	1.2590
Marbre de Paros	2.8376	Succin.	1.0780
Quartz-jaspe onyx.	2.8160	Sodium.	0.9726
Émeraude verte.	2.7755	Glace fondante	0.9300
Perles.	2.7500	Potassium.	0.8651
Chaux carbonatée cristal- lisée.	2.7182	Bois de hêtre.	0.8520
Quartz-jaspe.	2.7101	Frêne.	0.8450
Corail.	2.6800	If.	0.8070
Cristal de roche pur.	2.6530	Bois d'orme.	0.8000
Quartz-agate.	2.6150	Pommier.	0.7330
Feld-spath limpide.	2.5644	Bois d'oranger.	0.7050
Verre de Saint-Gobain.	2.4882	Sapin jaune.	0.6570
Porcelaine de Chine.	2.3847	Tilleul.	0.6040
Chaux sulfatée cristallisée.	2.3177	Bois de cyprès.	0.5980
Porcelaine de Sèvres	2.1457	Bois de cèdre	0.5610
Soufre natif.	2.0332	Peuplier blanc d'Espagne.	0.5290
Ivoire.	1.9170	Bois de sassafras.	0.4820
Albâtre	1.8740	Peuplier ordinaire.	0.3830
		Liège.	0.2400
LIQUIDES.			
Mercure.	13.5980	Vin de Bordeaux.	0.9930
Acide sulfurique.	1.8409	Vin de Bourgogne.	0.9915
Acide azoteux.	1.5500	Huile d'olive.	0.9153
Eau de la mer Morte	1.2403	Éther muriatique.	0.874
Acide azotique.	1.2175	Huile essentielle de téré- benthine	0.8697
Eau de la mer.	1.0263	Bitume liquide, dit naphte.	0.8475
Lait.	1.0300	Alcool absolu.	0.792
Eau distillée.	1.0000	Éther sulfurique.	0.7155

DENSITÉS de quelques gaz à 0° et sous la pression 0 ^m ,76, celle de l'air étant 1.			
DÉSIGNATION DES CORPS.	DENSITÉS.	DÉSIGNATION DES CORPS.	DENSITÉS.
Air	1.0000	Acide carbonique.	1.524
Gaz hydriodique.	4.443	Acide hydrochlorique.	1.2474
Gaz fluosilicique.	3.5735	Hydrogène protophosphoré	1.214
Gaz chloroborique.	3.420	Acide hydrosulfurique.	1.1912
Gaz chlorocarbonique.	3.399*	Oxygène.	1.1057
Hydrogène arseniqué.	2.695	Deutoxyde d'azote.	1.0388
Chlore.	2.470	Hydrogène bicarboné.	0.9780
Oxyde de chlore.	2.315*	Azote	0.972
Acide fluoborique.	2.371	Oxyde de carbone.	0.957
Acide sulfureux.	2.234	Ammoniaque.	0.5967
Cyanogène.	1.806	Hydrogène carboné des ma- rais.	0.555
Hydrogène phosphoré.	1.761	Hydrogène	0.0688
Protoxyde d'azote.	1.520		
DENSITÉS de quelques vapeurs ramenées par le calcul à 0° et à la pression 0^m,76.			
Vapeur de perchlorure d'é- tain.	9.200	Vapeur de phosphore.	4.3550
— d'iode.	8.716	— de chlorure de bore.	3.942
— de perchlorure de titane.	6.856	— d'hydrobicharbonate de chlore.	3.443
— de mercure.	6.976	— nitreuse.	3.180*
— de protochlorure d'ar- senic.	6.301	— d'hydrogène arseniqué.	2.695
— de chlorure de silicium.	5.939	— de sulfure de carbone.	2.645
— d'éther hydriodique.	5.4749	— d'éther sulfurique.	2.586
— de camphre ordinaire.	5.468	— d'acide fluoborique.	2.312
— d'éther benzoïque.	5.409	— d'éther hydrochlorique.	2.219
— d'éther oxalique.	5.087	— d'acide chlorocyanique.	2.1228*
— d'essence de térében- thine.	5.013	— d'alcool absolu.	1.6133
— de protochlorure de phosphore.	4.875	— d'acide hydrocyanique.	0.9476
— de naphthaline.	4.5280	— d'eau.	0.6235
		— de carbone.	0.4220*

* Densités calculées.

En pratique, on peut admettre que la densité de la vapeur d'eau, à une pression quelconque, est les 5/8 de celle de l'air à la même température et à la même pression.

29. TABLEAU du poids d'un mètre cube de divers corps dont les densités n'ont pu être déterminées d'une manière aussi précise que pour les précédents.

(M. PONCELET, Introduction à la mécanique industrielle.)

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube.	DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube.
	kil.		kil.
Pierre à plâtre ordinaire.	2168	Terre argileuse.	1600
Gypse ou plâtre fin.	2264	Terre glaise.	1900
Pierre meulière.	2484	Maçonnerie de moellons ordinaires, de 1700 kil. à.	2300
Marbre noir et blanc.	2717	Chêne le plus pesant, le cœur.	1170
Briques { les plus cuites.	2200	Chêne le plus léger, sec.	850
{ les moins cuites.	1500	Huile de lin.	940
Tuiles ordinaires.	2000	Huile de navette.	919
Sable pur.	1900	Alcool ordinaire ou esprit-de-vin.	837
Sable terreux.	1700		
Terre végétale légère.	1400		

GÉNIEYS, Recueil de tables.

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube.	
	de	à
1° SUBSTANCES D'ORIGINE MINÉRALE.	kil.	kil.
Eau { distillée et de pluie.	"	1000
{ de rivière, environ.	"	1000
{ de puits.	1000	1014
{ de mer.	1028	1042
Terre ou sable de bruyère.	614	643
Terreau.	828	857

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube.	
	de	à
	kil.	kil.
Tourbe { sèche	514	"
{ humide.	785	"
Terre végétale	1214	1285
Terre forte graveleuse.	1357	1428
Vase.	1642	"
Argile et glaise.	1656	1756
Marne.	1571	1642
Sable { fin et sec.	1399	1428
{ fin et humide.	1900	"
{ fossile argileux.	1713	1799
{ de rivière humide.	1771	1856
Gravier cailloutis.	1371	1485
Grosse terre mêlée de sable et de gravier.	1860	"
Terre mêlée de petites pierres.	1910	"
Argile mêlée de tuf.	1990	"
Terre grasse mêlée de cailloux.	2290	"
Écalins de roches.	1571	1713
Ciment de terre cuit.	1171	1228
Mâchefer, scorie de forges	771	985
Laitier vitreux.	1428	1485
Pouzzelane { d'Italie.	1157	1228
{ du Vivarais.	1085	1128
Trass de Hollande ou trass d'Andernach.	1071	1085
Pierre ponce.	557	928
Chaux { vive sortant du four.	800	857
{ éteinte, en pâte ferme.	1328	1428
Mortier de chaux et de { sable.	1856	2142
{ ciment.	1656	1713
{ mâchefer.	1128	1214
{ laitier.	1856	1942
Brique.	1000	1471

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube.		
	de	à	
	kil.	kil.	
Craie.	1214	1285	
Pierre à bâtir	tendre.	1142	1713
	franche demi-roche.	1713	1999
	liais doux et roche.	2142	2284
	roches dures, liais.	2284	2427
	très-compacte, cliquant.	2499	2713
Albâtres, marbres, brèches, lumachelles, brocatelles.	2199	2870	
Chaux fluatée, spath fluor.	3084	3184	
Chaux fluatée calcaireuse, gypse ou pierre à plâtre crue et alabastrite.	1899	2299	
Plâtre cuit battu.	1199	1228	
<i>Id.</i> tamisé.	1242	1257	
L'eau pour gâcher, pèse.	328	343	
Plâtre gâché humide.	1571	1599	
<i>Id.</i> sec.	1399	1414	
L'eau vaporisée pèse	171	186	
L'eau combinée par cristallisation pèse.	157	157	
Maçonnerie fraîche en	moellons.	2240	"
	briques.	1870	"
Baryte.	4284	4626	
Quartz, pierre meulière poreuse.	1242	1285	
<i>Id.</i> <i>id.</i> compacte écaillée.	2485	2613	
Quartz hyalin.	2642	2656	
Quartz arénacé ou grès à bâtir.	1928	2070	
<i>Id.</i> à paveur.	2427	2613	
Quartz résinite pechstein ou pierre de polx.	2042	2656	
Quartz ou silex pyromaque, pouding.	2570	2927	
Jaspe.	2356	2813	
Feldspath, pétrosilex.	2570	2742	
Trapp, cornéme, pierre de touche.	2699	2742	
Porphyre, ophile, serpentine variolite	2756	2927	
Talc, stéatite, chlorite.	2613	2784	

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube.		
	de	à	
	kil.	kil.	
Serpentine.	2770	2856	
Pierre ollaire.	2742	2856	
Granit, siénite, gneiss.	2356	2956	
Granitelle.	2799	3056	
Mica.	2570	2927	
Amiante.	1556	1785	
Schiste	grossier.	1813	2784
	tégulaire, ardoise.	2742	2856
Trématode, pierre de Volvic.	1928	2642	
Laves, lithoïdes, basaltes.	2756	3056	
Laves du Vésuve.	1713	2813	
Tufs volcaniques.	1214	1385	
Scories volcaniques	785	885	
Houille, charbon de terre.	942	1328	
2° MÉTAUX.			
Or à 24 carats, fondu, forgé.	"	19065	
Argent à 12 deniers, fondu, forgé.	"	11494	
Platine passé à la filière.	"	21039	
Cuivre	rouge fondu.	"	7783
	passé à la filière.	"	8540
	jaune, lait fondu.	"	12674
	passé à la filière.	"	8540
Fer	fondu.	"	7202
	forgé.	"	7783
Acier	non trempé.	"	7829
	écroul, trempé.	"	7813
Étain	pur de Cornwall, fondu.	"	7287
	neuf, fondu, écroul.	"	7307
	fin, fondu, écroul.	"	7515
	commun fondu.	"	7915
	dit <i>claire étoffe</i> , fondu.	"	8439

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube.	
	de	à
Plomb fondu.	kil.	kil.
»	»	11346
Zinc fondu.	»	7138
Mercure coulant.	»	13560
3° CARREAUX DE PLATRAS ET PLATRE.		
	Un carreau	
	humide.	sec.
0 ^m ,0677 d'épaisseur.	15	12
0,0812 <i>id.</i>	18	15
0,0947 <i>id.</i>	21	17
0,1083 <i>id.</i>	23	20
	Le cent de compte.	
Bourgogne.	241	428
Montreau.	208	214
Sarcelles.	180	184
Brique flottante composée de farine volcanique.	0,189 0,115 0,045	44 »
Ardoise carrée forte.	45	47
<i>Id. id. fine.</i>	36	38
<i>Id. cartelette.</i>	22	23
Le mètre carré de voliges employé en couverture.	5	5,3
Tuiles de Bourgogne, grand moule, de 0 ^m ,298 sur 0,244 et 0,0135.	223	225
Tuiles de Bourgogne grand moule faitières de 0 ^m 3,52.	379	385
<i>Id.</i> petit moule de 0 ^m ,244 sur 0,162 et 0,014.	159	162
Tuiles de Bourgogne petit moule faitières de 0 ^m ,352.	328	330
Tuiles de Sarcelles de 0 ^m ,257 sur 0 ^m ,162 et 0 ^m ,018.	112	116
Tuiles de Sarcelles faitières de 0 ^m ,325.	»	245
Carreaux de 0 ^m ,162, à six pans, de	{ Bourgogne.	84 »
	{ Sarcelles.	74 »
4° BOIS.		
Abricotier.	771	»
Acacia (faux).	785	800
Alisier.	871	885
Acajou.	785	914
Amandier.	110	»

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube.	
	de	à
Arbre de Judée.	kil.	kil.
»	685	»
Aune.	543	800
Bouleau commun.	700	714
<i>Id. merisier.</i>	571	»
Buis de France.	900	914
<i>Id. de Mahon.</i>	914	928
<i>Id. de Hollande.</i>	1314	1328
Catalpa.	457	471
Cèdre du Liban.	557	600
<i>Id. des Indes.</i>	1314	»
Cerisier commun.	714	743
<i>Id. de Sainte-Lucie.</i>	857	871
Charme.	757	»
Châtaignier.	685	»
Chêne vert.	930	1220
Chêne sec.	643	1015
Cognassier.	700	985
Cormier.	900	914
Coudrier noisetier.	600	»
Cyprés pyramidal.	600	657
<i>Id. étalé.</i>	571	»
Ébénier des Alpes.	1042	»
<i>Id. d'Amérique.</i>	1199	1328
Érable sycomore.	643	»
<i>Id. de Virginie.</i>	628	757
<i>Id. jaspé.</i>	543	557
Févier épineux.	814	828
<i>Id. sans épines.</i>	771	785
Fresne.	785	»
Gaïac.	1328	1342
Genévrier.	543	557
Grenadier.	1342	1357

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube.	
	de	à
Hêtre.	kil. 714	kil. 857
If de Hollande.	771	»
If d'Espagne.	814	»
Laurier d'Espagne.	814	828
Marronnier.	657	»
Mélèze.	657	»
Mûrier.	885	900
Néflier.	942	»
Noyer de France.	600	685
<i>Id.</i> d'Afrique.	728	743
Olivier.	914	928
Oranger.	700	»
Orme.	743	942
Osier.	543	»
Peuplier d'Italie.	371	414
<i>Id.</i> de Hollande.	528	614
Pin du Nord.	814	828
Platane d'Orient.	700	714
<i>Id.</i> d'Occident.	628	»
Poirier.	657	714
Pommier.	757	800
Prunier.	711	»
Sapin commun.	528	557
<i>Id.</i> jaune aurora.	671	»
Saule.	571	585
Sorbier des oiseaux.	743	»
Sureau.	685	700
Tilleul.	557	600
Tulipier.	471	485
Thuya de la Chine.	557	571
Aylande, dit <i>verniss du Japon</i>	814	828
Vigne.	1314	1328

MACHINES EN GÉNÉRAL.

30. Le *but d'une machine* est de transmettre le travail dépensé par le moteur qui la sollicite, en modifiant, à la fois ou séparément, l'intensité et la vitesse de ce moteur, et la direction de son mouvement. Jamais une machine n'ajoute à l'effet du moteur : au contraire, les frottements qui s'exercent toujours entre ses différents organes, les changements de direction du mouvement de ces organes, les chocs, la roideur des cordes ou courroies, etc., font que le travail utile transmis est toujours moindre que le travail moteur dépensé; c'est ce que l'on exprime par la formule

$$T_m = T_u + T_r .$$

T_m travail moteur;

T_u travail utile transmis par la machine;

T_r travail absorbé par les différentes résistances qu'engendre la machine.

31. Quand, pour un temps quelconque, une machine réalise la formule (30), on dit qu'il y a *équilibre dynamique*, et le mouvement de la machine est uniforme (3).

32. Il peut y avoir *équilibre dynamique* dans une machine sans que la vitesse soit invariable; il suffit que le mouvement soit un *mouvement périodique constant* (5); mais, alors, on dit qu'il y a *équilibre dynamique périodique*.

FROTTEMENT.

33. Toutes les fois qu'un corps se meut en glissant sur un autre corps, il se produit une résistance qui s'oppose au mouvement. Cette résistance, que l'on nomme *frottement de glissement*, est indépendante de la vitesse et de l'étendue des surfaces en contact; mais elle varie selon la nature et l'état de ces surfaces; et elle est proportionnelle à la pression que les surfaces en contact exercent l'une sur l'autre. D'après des expériences de Wood, la pression des essieux de wagons dans leurs boîtes ne doit pas dépasser $6^k,33$ par centimètre carré de surface de contact; au-dessus de cette limite la graisse est écrasée et le frottement devient considérable.

34. L'expérience prouve que quand deux surfaces ont été en contact pendant un certain temps, le frottement est plus considé-

nable au premier instant du mouvement, que quand le mouvement a lieu; et que, dans les deux cas, on a

$$F = (P + Q) f.$$

F frottement;
 P pression entre les deux surfaces, due au poids du corps qui repose;
 Q force étrangère qui tend à appliquer les deux surfaces l'une sur l'autre;
 P + Q pression totale qui s'exerce entre les deux surfaces en contact, normalement à ces surfaces;
 f coefficient de frottement; c'est le rapport du frottement à la pression.

35. Pour le cas de mouvement, on a

$$T_r = E(P + Q)f.$$

T_r travail absorbé par le frottement;
 E espace parcouru par la surface frottante sur la surface frottée;
 P, Q, f, ont les mêmes significations que dans la formule (34).

L'expérience prouvant qu'un léger choc, donné sur les corps en contact depuis un certain temps, produit un ébranlement suffisant pour faire commencer le mouvement, quand le corps mobile est sollicité par un effort de très-peu supérieur à celui qui est capable de le continuer; dans les applications, pour évaluer le travail absorbé par le frottement, on ne tient compte que du frottement qui s'exerce quand les corps sont déjà en mouvement; on ne tient compte non plus que de ce frottement dans l'évaluation de la stabilité d'une construction soumise à des ébranlements.

36. Outre le frottement de glissement, il y a encore le frottement de roulement; c'est celui qui s'exerce au pourtour d'une roue ou d'une boule qui roule sur une surface, pour s'opposer au mouvement. Ce frottement, sur lequel nous reviendrons au sujet des chemins de fer, peut être négligé quand il s'exerce entre quelques organes d'une machine.

37. TABLEAU des valeurs du coefficient de frottement des surfaces planes (33 et 34), d'après les expériences de M. Morin.

INDICATION DES SURFACES FROTTANTES.	DISPOSITION des fibres.	ÉTAT des surfaces.	RAPPORT du frottement à la pression	
			au départ, après quelque temps de contact.	pendant le mouvement.
Chêne sur chêne	Parallèles.	Sans enduit.	0.62	0.48
<i>Id.</i> <i>id.</i>	<i>Id.</i>	Frottées de savon sec.	0.44	0.16
<i>Id.</i> <i>id.</i>	Perpendiculaires.	Sans enduit.	0.54	0.34
<i>Id.</i> <i>id.</i>	<i>Id.</i>	Mouillées d'eau.	0.71	0.25
<i>Id.</i> <i>id.</i>	Bout sur plat.	Sans enduit.	0.43	0.19
Chêne sur orme	Parallèles.	<i>Id.</i>	0.38	"
Orme sur chêne.	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	0.69	0.43
<i>Id.</i> <i>id.</i>	<i>Id.</i>	Frottées de savon sec.	0.41	0.25
<i>Id.</i> <i>id.</i>	Perpendiculaires.	Sans enduit.	0.57	0.45
Frêne, sapin, hêtre, sorbier sur chêne.	Parallèles.	<i>Id.</i>	0.53	0.36 à 0.40
Fer sur chêne.	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	0.62	0.62
<i>Id.</i> <i>id.</i>	<i>Id.</i>	Mouillées d'eau.	0.65	0.26
<i>Id.</i> <i>id.</i>	<i>Id.</i>	Frottées de savon sec.	"	0.21
Fonte sur chêne.	<i>Id.</i>	Sans enduit.	"	0.49
<i>Id.</i> <i>id.</i>	<i>Id.</i>	Mouillées d'eau.	0.65	0.22
<i>Id.</i> <i>id.</i>	<i>Id.</i>	Frottées de savon sec.	"	0.19
Cuivre jaune sur chêne.	<i>Id.</i>	Sans enduit.	0.62	0.62
Fer sur orme.	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	"	0.25
Fonte sur orme.	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	"	0.20
Cuir tanné sur chêne.	Cuir à plat.	Sans enduit.	0.61	0.30 à 0.35
<i>Id.</i> <i>id.</i>	Cuir de champ.	<i>Id.</i>	0.43	0.30 à 0.35
<i>Id.</i> <i>id.</i>	<i>Id.</i>	Mouillées d'eau.	0.79	0.29
<i>Id.</i> <i>id.</i>	Cuir à plat.	<i>Id.</i>	"	0.29

INDICATION DES SURFACES FROTTANTES.	DISPOSITION des fibres.	ÉTAT des surfaces.	RAPPORT du frottement à la pression	
			au départ, après quelque temps de contact.	pendant le mouvement.
Cuir noir corroyé sur une surface ou courroie { plane en chêne.	Parallèles.	Sans enduit. . .	0.74	0.27
<i>Id.</i> <i>id.</i> { sur tambour en chêne.	Perpendiculaires.	<i>Id.</i>	0.47	"
Cuir tanné sur fonte ou sur bronze. . .	A plat ou de champ.	<i>Id.</i>	"	0.56
<i>Id.</i> <i>id.</i> <i>id.</i>	<i>Id.</i>	Mouillées d'eau.	"	0.36
<i>Id.</i> <i>id.</i> <i>id.</i>	<i>Id.</i>	Onctueuses et eau.	"	0.23
<i>Id.</i> <i>id.</i> <i>id.</i>	<i>Id.</i>	Huilées.	"	0.15
Cuir de bœuf pour garniture de piston, sur fonte	<i>Id.</i>	Mouillées d'eau.	0.62	"
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Huile, suif, saindoux	0.12	"
Cuir noir corroyé sur poulie en fonte.	Cuir à plat.	Sans enduit. . .	0.28	"
<i>Id.</i> <i>id.</i>	<i>Id.</i>	Mouillées d'eau.	0.38	"
Chanvre en brin ou en corde sur chêne.	Parallèles.	Sans enduit. . .	"	0.52
<i>Id.</i>	Perpendiculaires.	Mouillées d'eau.	"	0.33
Natte de chanvre sur chêne.	Parallèles.	Sans enduit. . .	0.50	"
<i>Id.</i> <i>id.</i>	<i>Id.</i>	Mouillées d'eau.	0.87	"
Chêne et orme sur fonte.	<i>Id.</i>	Sans enduit. . .	"	0.38
Poirier sauvage sur fonte.	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	"	0.44
Fer sur fer.	"	<i>Id.</i>	"	" ¹
Fer sur fonte.	"	<i>Id.</i>	0.19	0.18 ²
Fer sur bronze	"	<i>Id.</i>	"	0.18 ³
Fonte sur fonte.	"	<i>Id.</i>	0.16 ⁴	0.15 ⁴
Fonte sur bronze.	"	<i>Id.</i>	"	0.15 ³
Bronze sur bronze	"	<i>Id.</i>	"	0.20
<i>Id.</i> sur fonte.	"	<i>Id.</i>	"	0.22
<i>Id.</i> sur fer.	"	<i>Id.</i>	"	0.16 ³
Chêne, orme, poirier sauvage, fonte, fer, acier et bronze, glissant l'un sur l'autre ou sur eux-mêmes.	"	Lubrifiées à la manière ordinaire, de suif, d'huile, de saindoux ou decambouis mou.	"	0.07 à 0.08 ⁵

INDICATION DES SURFACES FROTTANTES.	DISPOSITION des fibres.	ÉTAT des surfaces.	RAPPORT du frottement à la pression	
			au départ, après quelque temps de contact.	pendant le mouvement.
Les mêmes. <i>Id.</i>	"	Légèrement onctueuses au toucher.	"	0.15
Chêne, orme, charme, fer, fonte et bronze, glissant deux à deux l'un sur l'autre.	"	Enduites de suif.	0.10 ^b	"
Les mêmes. <i>Id.</i>	"	<i>Id.</i> d'huile ou de saindoux.	0.15 ^c	"
Calcaire tendre, dit calcaire oolithique, bien dressé sur lui même.	"	Sans enduit. . .	0.74	0.64
Calcaire dur, dit muschelkalk, bien dressé sur calcaire oolithique.	"	<i>Id.</i>	0.75	0.67
Brique ordinaire sur calcaire oolithique.	"	<i>Id.</i>	0.67	0.65
Chêne sur calcaire oolithique.	Bois de bout. . .	<i>Id.</i>	0.63	0.38
Fer forgé <i>Id.</i>	Parallèles.	<i>Id.</i>	0.49	0.69
Muschelkalk sur muschelkalk.	"	<i>Id.</i>	0.70	0.38
Calcaire oolithique sur muschelkalk.	"	<i>Id.</i>	0.75	0.65
Brique ordinaire sur muschelkalk. . .	"	<i>Id.</i>	0.67	0.60
Chêne sur muschelkalk.	Bois de bout. . .	<i>Id.</i>	0.64	0.38
Fer forgé sur muschelkalk.	Parallèles.	<i>Id.</i>	0.42	0.24
<i>Id.</i> <i>id.</i>	<i>Id.</i>	Mouillées d'eau.	"	0.30
Calcaire oolithique sur calcaire oolithique	"	Mortier de trois parties de sable fin et une partie de chaux hydraulique.	0.74 ^d	"

- ^a les surfaces conservant quelque onctuosité;
^b lorsque le contact n'a pas duré assez longtemps pour exprimer l'enduit;
^c lorsque le contact a duré assez longtemps pour exprimer l'enduit, et ramener les surfaces à l'état onctueux;
^d après un contact de 10 à 15 minutes;
^e les surfaces se rodant dès qu'il n'y a pas d'enduit;
^f les surfaces conservant encore un peu d'onctuosité;
^g les surfaces étant un peu onctueuses;
^h lorsque l'enduit est sans cesse renouvelé et uniformément réparti, ce rapport peut s'abaisser jusqu'à 0,05.

38. Le tableau suivant, extrait de *l'Introduction à la mécanique industrielle* de M. Poncelet, complétera le précédent.

TABLEAU des résistances au glissement, à l'instant du départ et après quelque temps de contact.

PREMIÈRE PARTIE. — Frottement proprement dit.				
NATURE DES CORPS ET ENDUITS.	OPÉ-RATEURS.	RAPPORT du frottement à la pression.		
Grès uni sur grès uni, à sec.	Rennie.	0,71		
<i>Id.</i> <i>id.</i> avec mortier frais.	<i>Id.</i>	0,66		
Calcaire dur poli sur calcaire dur poli.	Rondelet.	0,58		
<i>Id.</i> bouchardé sur <i>id.</i> bouchardé.	Boistard.	0,78		
Granit bien dressé sur granit bouchardé.	Rennie.	0,66		
<i>Id.</i> avec mortier frais sur granit bouchardé.	<i>Id.</i>	0,49		
Caisse en bois sur pavé.	Régnier.	0,58		
<i>Id.</i> sur la terre battue.	Hubert.	0,33		
Pierre de libage sur un lit d'argile sèche.	Lesbros.	0,51		
<i>Id.</i> l'argile étant humide et ramollie.	<i>Id.</i>	0,34		
<i>Id.</i> l'argile parcellement humide, mais recouverte de grosse grève.	<i>Id.</i>	0,40		
DEUXIÈME PARTIE. — Cohésion ou adhérence (*).				
NATURE des pièces superposées et de l'enduit.	OPÉ-RATEURS.	SURFACE en décimètres carrés.	JOURS de contact à l'air ou dans l'eau.	RÉSISTANCE
				moyenne par mètre carré.
<i>Calcaire bouchardé</i> , fiché sur calcaire bouchardé, avec mortier en chaux grasse et sable fin.	Boistard.	1 à 2	17 à l'air.	6600 k.
		3 à 5	<i>id.</i>	9400
		47	48 à l'eau.	1200
<i>Le même</i> , avec mortier en chaux grasse et ciment.	<i>Id.</i>	1 à 2	17 à l'air.	3200
		3 à 5	<i>id.</i>	5300

(*) La rupture ayant lieu dans l'intérieur de la couche de mortier, ou à la jonction de la couche de plâtre avec les pierres; la résistance est due à la cohésion dans le premier cas, et à l'adhérence dans le second.

NATURE des pièces superposées et de l'enduit.	OPÉ-RATEURS.	SURFACE en décimètres carrés.	JOURS de contact à l'air ou dans l'eau.	RÉSISTANCE moyenne par mètre carré.
Le même, avec mortier en chaux grasse et ciment, non rompu.	Boistard.	47	48 à l'eau.	1100 k.
		1 à 2	83 à l'air.	18000
Calcaire tendre de Jaumont, fiché sur calcaire tendre de Jaumont, avec mortier en chaux hydraulique de Metz et sable fin.	Morin.	2 à 3	48 <i>id.</i>	12000
		<i>id.</i>	43 <i>id.</i>	10100
		4 à 6	48 <i>id.</i>	10000
		7 à 8	48 <i>id.</i>	9400
Briques ordinaires, fichées avec le même mortier.	<i>Id.</i>	1,3	48 <i>id.</i>	14000
		2,6	48 <i>id.</i>	10000
Calcaire de Jaumont, fiché sur calcaire de Jaumont, avec plâtre ordinaire.	<i>Id.</i>	2,0	48 <i>id.</i>	22000
		8,0	48 <i>id.</i>	28000
Calcaire bleu à gryphite, très-lisse, sur calcaire bleu à gryphite, très-lisse, avec plâtre.	<i>Id.</i>	2,5	48 <i>id.</i>	11000
		4,5	48 <i>id.</i>	20000

39. TABLEAU des valeurs du coefficient de frottement des axes en mouvement sur leurs coussinets (33 et 34).

1° D'APRÈS M. MORIN.				
INDICATION des		NATURE DES ENDUITS.	RAPPORT du frottement à la pression	
axes.	coussinets		graisage ordinaire.	graisage continu.
Fonte.	Fonte.	Huile d'olive, saindoux, suif ou cambouis mou.	0,07 à 0,08	0,054
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Les mêmes, enduits et les surfaces mouillées d'eau.	0,08	"
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Asphalte.	0,054	"
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Surfaces onctueuses.	0,14	"
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Surfaces onctueuses et mouillées d'eau.	0,14	"
<i>Id.</i>	Bronze.	Huile d'olive, saindoux, suif ou cambouis mou.	0,07 à 0,08	0,054
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Surfaces onctueuses.	0,16	"

INDICATION des		NATURE DES ENDUITS.	RAPPORT du frottement à la pression	
axes.	coussinets		graissage ordinaire.	graissage continu.
Fonte.	Bronze.	Surfaces onctueuses et mouillées d'eau.	0,16	»
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Surfaces très-peu onctueuses. . .	0,19	» ^a
<i>Id.</i>	Gaïac.	Sans enduit.	0,18	» ^b
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Huile ou saindoux.	»	0,090
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Surfaces onctueuses d'huile ou de saindoux.	0,10	»
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Surfaces onctueuses d'un mélange de saindoux et de plombagine.	0,14	»
Fer.	Fonte.	Huile d'olive, suif, saindoux ou cambouis mou.	0,07 à 0,08	0,054
<i>Id.</i>	Bronze.	Huile d'olive, saindoux ou suif. .	0,07 à 0,08	0,054
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Cambouis ferme.	0,09	»
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Surfaces onctueuses et mouillées d'eau.	0,19	»
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Surfaces très-peu onctueuses. . .	0,25	» ^c
<i>Id.</i>	Gaïac.	Huile ou saindoux.	0,11	»
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Surfaces onctueuses.	0,19	»
Bronze.	Bronze.	Huile.	0,10	»
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Saindoux.	0,09	»
<i>Id.</i>	Fonte.	Huile ou suif.	»	{ 0,045 à 0,052
Gaïac.	<i>Id.</i>	Saindoux.	0,12	»
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Surfaces onctueuses.	0,15	»
<i>Id.</i>	Gaïac.	Saindoux.	»	0,07

2° D'APRÈS COULOMB.

INDICATION des		NATURE DES ENDUITS.	RAPPORT du frottement à la pression
axes.	coussinets.		
Fer.	Cuivre.	Sans enduit.	0,155
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Suif.	0,085
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Saindoux.	0,120

INDICATION des		NATURE DES ENDUITS.	RAPPORT du frottement à la pression
axes.	coussinets.		
Fer.	Cuivre.	Surfaces onctueuses de suif essuyé.	0,127
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Huile d'olive.	0,130
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Surfaces anciennement enduites de suif. . .	0,133
Chêne vert.	Gaïac.	Suif.	0,038
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Surfaces onctueuses de suif essuyé.	0,060
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Surfaces anciennement enduites de suif. . .	0,070
<i>Id.</i>	Orme.	Suif.	0,030
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Surfaces onctueuses de suif essuyé.	0,050
Buis.	Gaïac.	Suif.	0,043
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Surfaces onctueuses de suif essuyé.	0,070
<i>Id.</i>	Orme.	Suif.	0,035
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Surfaces onctueuses de suif essuyé.	0,050
Fer.	Bois.	On ne désigne pas la nature des enduits. . .	0,050

^a les surfaces commençant à se roder ;

^b les bois étant un peu onctueux ;

^c les surfaces commençant à se roder.

40. Les formules suivantes donnent, successivement, l'expression du travail absorbé par le frottement : 1° d'un corps qui se meut sur une surface plane, pour un espace quelconque parcouru ; 2° d'un axe qui tourne dans un coussinet, pour une révolution ; 3° de la face horizontale d'un pivot vertical tournant sur une crapaudine, aussi pour une révolution ; 4° d'une couronne ou collet tournant en frottant par une face normale à son axe.

$$T_r = fP \times E, \quad T_r = fP \times 2\pi R, \quad T_r = fP \times \frac{4}{3}\pi R, \quad T_r = fP \times 2\pi \left(R + \frac{1}{12} R^2 \right).$$

T_r travail absorbé par le frottement ;

f coefficient de frottement (33 et suivants) ;

P pression qui s'exerce entre les deux surfaces frottantes ;

E espace parcouru par une surface sur l'autre ;

R rayon du tourillon, et de la face horizontale du pivot ;

r rayon intérieur de la couronne ;

r' rayon extérieur de la couronne ;

$R_1 = \frac{r+r'}{2}$ rayon moyen *id.* ;

$l = r' - r$ largeur de la couronne.

Soit à déterminer, pour une révolution, le travail absorbé par le frottement du collet d'un arbre en fonte graissée d'huile, contre la joue latérale d'un coussinet en bronze ; la pression P du collet contre la joue du coussinet étant égale à 55 kilog., le petit rayon r du collet étant 0^m,05, et le grand rayon r' , 0^m,06.

$$\text{On a } R_1 = \frac{0,05+0,06}{2} = 0,055, \quad l = 0,06 - 0,05 = 0,01,$$

et d'après le tableau (37) $f = 0,08$.

Remplaçant alors les lettres par leurs valeurs dans la formule 4^o, on a

$$T_r = 0,08 \times 55 \times 2 \times 3,14 \left(0,055 + \frac{1}{12} \frac{(0,01)^2}{0,055} \right) = 27,63 (0,055 + 0,00015) = 1^{\text{km}}, 52.$$

Supposant que l'arbre fasse une révolution par seconde, on voit que le travail absorbé par le frottement sera à peu près le 1/4 de celui produit par un homme agissant sur une manivelle (20).

41. Le frottement produit par la garniture d'un piston, et le travail absorbé par ce frottement pour un coup de piston, sont successivement :

$$F = \pi D e p f, \quad \text{et} \quad T_r = \pi D e p f l.$$

F frottement ;

D diamètre du piston ;

e hauteur de la garniture ;

p pression sur un mètre carré de surface de la partie frottante de la garniture ; c'est la pression du liquide ou du gaz comprimé, sur la même unité de surface ;

f coefficient de frottement ; il varie de 1/8 à 1/10 pour les garnitures de cuivre enduites, sur fonte ; il est 1/6 pour les garnitures en chanvre et 1/5 pour celles en cuir enduites de plombagine.

T_r travail absorbé par le frottement pour une course de piston ;

l course du piston.

CORDES ET COURROIES.

42. *Roideur des cordes.* Lorsqu'on élève un poids au moyen d'une corde qui s'enroule sur une poulie ou sur un tambour, on est obligé de vaincre, outre le poids élevé et les divers frottements, une résistance due à la roideur de la corde ; cette résistance, qui a pour bras de levier le rayon de la poulie ou du tambour augmenté du rayon de la corde, n'est autre chose que la force nécessaire pour courber la corde sur la poulie ou le tambour ; et l'expérience prouve qu'elle est assez bien représentée par la formule

$$R = \frac{1}{D} (ad^n + bd^n P).$$

R résistance due à la roideur de la corde ;

D diamètre de la poulie ou du tambour ;

d diamètre de la corde ;

P poids élevé ;

ad^n quantité constante pour une même corde ;

$bd^n P$ quantité proportionnelle au poids élevé ;

$n = 2$ pour les cordes neuves d'un grand diamètre ;

$n = 1,5$ pour les cordes plus qu'à demi usées ;

$n = 1$ pour les petites ficelles très-flexibles.

43. L'expérience semble prouver que, pour un même poids élevé, la résistance due à la roideur d'une corde blanche, croît en raison inverse du diamètre de la poulie ou du tambour, et qu'elle est directement proportionnelle à la puissance n du diamètre de la corde ; de sorte qu'on a pour deux cordes de diamètres différents, s'enroulant sur deux poulies aussi de diamètres différents, et élevant des poids égaux,

$$R' = R \frac{D}{D'} \left(\frac{d'}{d} \right)^n.$$

R' Résistance due à la roideur de la corde de diamètre d' , s'enroulant sur la poulie dont le diamètre est D' ;

R résistance due à la roideur de la corde de diamètre d , s'enroulant sur la poulie dont le diamètre est D .

44. Pour les cordes goudronnées, la roideur ne varie pas sensiblement avec le degré d'usé, et il est plus exact de remplacer le

rapport $\frac{d^n}{d^n}$ par le rapport $\frac{C'}{C}$; C' et C exprimant les nombres de fils de caret que contiennent les deux cordes, ce qui donne

$$R' = R \frac{D}{D'} \frac{C}{C'}$$

45. Pour les cordes blanches mouillées, la roideur constante ad^n est double de ce qu'elle est pour les mêmes cordes sèches ; mais la roideur variable bd^n est la même que pour ces dernières.

46. TABLEAU de la roideur de différentes cordes s'enroulant sur une poulie de 1 mètre de diamètre.

INDICATION DES CORDES.	NOMBRE de fils de caret.	DIAMÈTRE des cordes.	POIDS des cordes par mètre de longueur.	ROIDEUR constante ad^n .	ROIDEUR variable bd^n , par kilog. de charge.
		m.	kilog.	kilog.	kilog.
Corde blanche neuve . . .	30	0,0200	0,2834	0,22246	0,0097382
Id.	15	0,0144	0,1448	0,063514	0,0055182
Id.	6	0,0088	0,0522	0,0106038	0,0023804
Corde goudronnée. . . .	30	0,0236	0,3326	0,3496	0,0125514
Id.	15	0,0168	0,1632	0,105928	0,0060592
Id.	6	0,0096	0,0693	0,021208	0,0025962

Au moyen de ce tableau et des deux formules (42 et 43), on peut résoudre tous les problèmes analogues au suivant :

47. Quelle est la résistance due à la roideur d'une corde blanche neuve de 0^m,03 de diamètre, s'enroulant sur une poulie de 0^m,50 de diamètre, et élevant un poids de 1000 kilog. ?

La corde blanche neuve du tableau précédent, dont le diamètre s'approche le plus de 0^m,03, donne (42), en remplaçant les lettres par leurs valeurs,

$$R = \frac{1}{0,50} (0,22246 + 0,0097382 \times 1000) = 19^k,92;$$

alors pour la corde de 0^m,03 de diamètre placée dans les mêmes circonstances, on a (43)

$$R' = 19,92 \left(\frac{0,03}{0,02} \right)^2 = 44^k,82.$$

Pour un tour de poulie, le travail absorbé par cette résistance est

$$44,82 \pi (D + d) = 44,82 \times 3,14 (0,50 + 0,03) = 74^k,59.$$

$\pi (D + d)$ longueur de corde enroulée pour un tour de poulie.

48. En pratique, il convient de remplacer les cordes rondes par des cordes plates qui ont plus de flexibilité et plus de durée.

49. Mouflé. En négligeant le frottement des axes des poulies et la roideur des cordes : 1° la tension de tous les cordons est la même, et, de plus, elle est égale à la puissance qui sollicite le cordon libre, c'est-à-dire, le cordon qui ne va pas d'une chape à l'autre ; 2° le poids élevé, qui, dans tous les cas, est égal à la somme des tensions de tous les cordons allant d'une chape à l'autre, est égal à la puissance multipliée par le nombre de ces cordons ; ce qui donne

$$Q = P \times n.$$

Q poids élevé ;

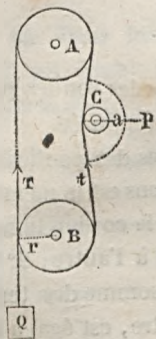
P puissance sollicitant le cordon libre ;

n nombre de cordons qui vont d'une chape à l'autre.

Les chemins parcourus par Q et P sont dans le rapport de 1 à n. En pratique la puissance P est, pour un même poids Q, beaucoup plus grande que ne l'indique cette formule ; cela est dû au grand nombre d'inflexions de la corde sur des poulies d'un petit diamètre, et au frottement des axes de ces poulies.

50. *Frottement d'une corde ou d'une courroie sur un cylindre fixe.* La force T (fig. 1), capable de faire glisser une corde ou une courroie sur un cylindre fixe B en la tirant par une de ses extrémités, cette corde ou cette courroie étant sollicitée à son autre extrémité par une force t , est donnée par la formule

Fig. 1



$$T = t(e)^{\frac{fs}{r}} \quad \text{ou} \quad \log. T = \log. t + (\log. e) \frac{fs}{r}.$$

- T force qui produit le mouvement;
 t force qui s'oppose au mouvement;
 $e = 2,71828$ base des logarithmes népériens;
 $\text{Log. } e = 0,434$;
 f coefficient de frottement;
 s longueur de l'arc embrassé par la corde ou la courroie sur le rouleau;
 r rayon du rouleau.

La formule fait voir que pour une même valeur de t , T ne dépend pas seulement de s , mais bien de $\frac{s}{r}$; c'est-à-dire, du nombre de degrés de l'arc embrassé.

D'après les expériences de M. Morin les valeurs de f sont :

- 0,47 pour des courroies ordinaires sur tambour en bois;
 0,50 *id.* neuves *id.*
 0,28 *id.* ordinaires sur poulies en fonte;
 0,38 *id.* humides *id.*
 0,50 pour des cordes de chanvre sur poulie ou tambour en bois.

51. *Transmission de mouvement au moyen d'une corde ou d'une courroie sans fin.* Quand, au moyen d'une corde ou d'une courroie sans fin, on transmet le mouvement d'une poulie A (fig. 1) à une autre poulie B à l'extrémité du rayon de laquelle agit une résistance Q qui s'oppose au mouvement; on a, en appelant T la tension du brin conducteur, t celle du brin conduit, et T' la tension commune des deux brins en repos,

$$T' = \frac{T+t}{2}, \quad (a)$$

et

$$T - t = Q. \quad (b)$$

Pour que la courroie ne glisse pas sur la poulie B , il faut que son frottement sur cette poulie soit au moins égal à Q .

D'après ce qui a été dit (50), on a

$$T = t(e)^{\frac{fs}{r}}; \quad (c)$$

des équations (b) et (c) on conclut

$$t = \frac{Q}{(e)^{\frac{fs}{r}} - 1}. \quad (d)$$

L'équation (d) donne la valeur de t , qu'en pratique on augmente de 1/10 afin de s'assurer que la courroie ne glissera pas; cette valeur substituée dans l'équation (b) donne T ; et les valeurs de T et de t substituées dans l'équation (a) donnent T' .

52. *Application.* Supposons que la 1/2 circonférence de la poulie en fonte B (fig. 1) soit embrassée par une courroie de transmission qui donne $f = 0^m,28$ (50), et que l'on ait $r = 0^m,30$ et $Q = 50$ kilogram. La formule (d) donne

$$t = \frac{Q}{(e)^{\frac{fs}{r}} - 1} = \frac{50}{(2,71828)^{\frac{0,28 \times 3,14 \times 0,30}{0,30}} - 1} = \frac{50}{2,41 - 1} = 35^m,46;$$

Augmentant cette valeur de 1/10 pour s'assurer que la courroie ne glissera pas, on a $t = 39$ kilogram.

La formule (b) donne

$$T = t + Q = 39 + 50 = 89 \text{ kilogram.};$$

enfin la formule (a) donne

$$T' = \frac{T+t}{2} = \frac{89+39}{2} = 64 \text{ kilogram.}$$

53. *Rouleaux de tension.* Pour maintenir constante la tension des cordes ou des courroies sans fin, malgré leur allongement, on fait usage d'un rouleau de tension C (fig. 1), dont la pression sur la courroie est donnée par la formule

$$p = 2t \cos \frac{1}{2} a.$$

- p pression du rouleau sur la corde ou courroie, suivant la bissectrice de l'angle a que font entre elles les deux parties du brin sur lequel il agit;
 t , tension des deux parties du brin sur lequel agit le rouleau, laquelle, dans le cas de la figure (1), est égale à t .

L'angle α , qui est toujours très-obtus, se mesure sur la courroie mise en place.

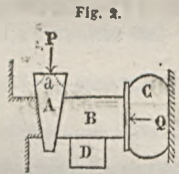
Supposant l'angle $\alpha = 170^\circ$ dans l'exemple (52), on a en remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule précédente,

$$p = 2 \times 39 \times 0,08716 = 6^k,80.$$

On peut, sans craindre un allongement trop rapide des courroies de transmission de mouvement, leur faire subir un effort de $1/4$ de kilogramme par millimètre carré de section; et afin qu'elles ne quittent pas les poulies sur lesquelles elles passent, il convient que le pourtour de ces poulies ait une convexité égale au $1/10$ de sa largeur.

MACHINES SIMPLES.

54. *Presse à coin.* En tenant compte du frottement des faces agissantes du coin A (fig. 2) contre les surfaces qu'elles touchent, et de celui du bloc B interposé entre le coin et les matières à comprimer C, sur le support D qui dirige son mouvement; on a, en négligeant les poids du coin et du bloc,



$$P = Q \frac{2(1 + f \tan \alpha)}{\tan \alpha - 2f - f^2 \tan \alpha}$$

- P force motrice agissant normalement à la tête du coin;
 Q force effective qui comprime les matières;
 α angle que fait la tête du coin avec chacune des faces latérales agissantes;
 f coefficient de frottement, commun à toutes les parties frottantes.

On obtiendrait les quantités de travail dépensées et produites, en multipliant P et Q par les espaces que parcourent les points d'application de ces forces; on a

$$E = \frac{1}{2} e \tan \alpha.$$

- E espace parcouru par la force motrice P, c'est-à-dire, par la tête du coin;
 e espace parcouru par la résistance Q, c'est-à-dire, par le bloc C.

55. *Vis à filets carrés.* En tenant compte du frottement de la vis à filets carrés dans son écrou, on a

$$PR = Qr \frac{\tan \alpha + f}{1 - f \tan \alpha}$$

- P puissance qui fait tourner la vis;
 R bras de levier de la puissance;
 Q force agissant suivant l'axe de la vis;
 r rayon moyen de la surface hélicoïdale agissante;
 α angle que fait la tangente à l'hélice de rayon r, avec un plan normal à l'axe de la vis;
 f coefficient du frottement de la vis dans son écrou.

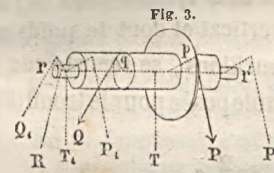
La formule précédente peut se mettre sous la forme

$$PR = Qr \frac{h + 2\pi r f}{2\pi r - fh}$$

- h pas de l'hélice; cela revient à remplacer $\tan \alpha$ par son équivalent $\frac{h}{2\pi r}$.

56. *Treuil.* En négligeant les frottements des tourillons du treuil (fig. 3), on a

$$Pp = Qq.$$



- P puissance ou force motrice agissant dans un plan normal à l'axe du treuil;
 p bras de levier de P, par rapport à l'axe du treuil;
 Q résistance vaincue agissant dans un plan normal à l'axe du treuil;
 q bras de levier de Q, par rapport à l'axe du treuil.

Les forces P et Q peuvent ne pas être parallèles entre elles.

57. En tenant compte du frottement des tourillons du treuil, la formule précédente devient

$$Pp = Qq + fRr + fR'r'.$$

- f coefficient de frottement des tourillons sur leurs coussinets;
 r et r' rayons des tourillons;
 R et R' résultantes des composantes des trois forces: le poids T du treuil, la puissance P et la résistance Q, décomposées chacune en deux autres agissant dans des plans normaux à l'axe, au milieu de la longueur des tourillons r et r' (*).
 fRr et fR'r' moments du frottement des tourillons.

(*) Les composantes du poids du treuil, et des forces P et Q sont transportées sur les milieux des tourillons, parallèlement à elles-mêmes, et y agissent à l'extré-

Comme R et R' dépendent de Q, on résoudra l'équation précédente par tâtonnement : on déterminera d'abord Q en négligeant le frottement des tourillons (56); ayant Q, on déterminera les valeurs correspondantes de R et R', par les décompositions indiquées plus haut et (fig. 3); ces valeurs substituées dans l'équation précédente donneront une deuxième valeur de Q, plus exacte que la première; opérant sur cette seconde valeur de Q comme sur la première, on obtiendra une troisième valeur s'approchant encore plus de la vérité, et en continuant ainsi de suite, on obtiendra pour Q une valeur aussi exacte qu'on voudra. En pratique on pourra généralement considérer la deuxième valeur de Q comme suffisamment approchée de la valeur réelle.

58. *Cabestan*. Si, outre les forces P et Q qui sollicitent le treuil en agissant dans des plans normaux à son axe, une force F agit parallèlement à cet axe, comme cela arrive dans les cabestans qui ne sont autre chose que des treuils à axe vertical et dont le poids au lieu de se reporter sur le contour des tourillons, se reporte sur la face horizontale du pivot inférieur, la formule posée pour le treuil (57) devient

$$Pp = Qq + fRr + fR'r' + fF \frac{2}{3} r''.$$

$fF \frac{2}{3} r''$ moment du frottement de la face horizontale du pivot (40);

mité de bras de levier égaux à ceux des forces qui leur donnent naissance. Les composantes d'une même force sont données par les formules

$$P_1 = \frac{Pd_2}{D} \quad \text{et} \quad P_2 = \frac{Pd_1}{D}.$$

P_1 composante agissant sur le tourillon r ;

P_2 id. sur le tourillon r' ;

P force décomposée;

$D = d_1 + d_2$ distance des milieux des deux tourillons;

d_2 distance du point d'application de P, au milieu du tourillon r' ;

d_1 distance du point d'application de P, au milieu du tourillon r .

Les distances d_2 et d_1 se mesurent suivant la longueur de l'axe du treuil.

Si l'une des forces P ou Q n'agissait pas entre les deux tourillons, mais sur le prolongement de l'arbre du tour, on suivrait une marche analogue pour déterminer l'effort qu'elle produirait sur chacun des tourillons; en considérant l'effort sur le tourillon le plus voisin de son point d'application, comme étant la résultante de cette force et de la réaction sur l'autre tourillon; cette réaction agirait en sens contraire de la force P ou Q.

f' coefficient de frottement qui peut être différent de celui du pourtour du pivot;
 r'' rayon de la surface frottante horizontale du pivot.

59. *Frottement des engrenages*. Lorsqu'un corps se meut en roulant et glissant à la fois sur un autre corps, on admet que le travail total absorbé par les deux frottements est le même que si un simple frottement de glissement avait lieu sur la différence des arcs parcourus réciproquement par une surface sur l'autre, et un simple frottement de roulement sur le plus petit des arcs parcourus. Dans les engrenages les deux mouvements de roulement et de glissement sont réunis, et on trouve, en négligeant le frottement de roulement qui est toujours très-faible,

$$T_m = T_u + T_u \times \frac{1}{2} fa \left(\frac{r'+r}{rr'} \right) = T_u + T_u \times \frac{1}{2} fa \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right),$$

T_m travail moteur dépensé par la roue qui conduit;

T_u travail utile dont on peut disposer sur l'arbre de la roue conduite;

$T_u \times \frac{1}{2} fa \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right)$ travail absorbé par le frottement;

f coefficient de frottement, variable suivant la nature des dents et la manière dont elles sont graissées (37);

a pas de l'engrenage; c'est la distance d'axe en axe de deux dents consécutives, prise sur la circonférence primitive;

r et r' rayons des circonférences primitives des deux roues.

La formule fait voir que pour des roues de rayons donnés, le travail absorbé par le frottement est proportionnel au pas.

Pour les engrenages cylindriques, on peut mettre la formule précédente sous la forme plus commode

$$T_m = T_u + T_u \times f\pi \left(\frac{1}{m} + \frac{1}{m'} \right).$$

m et m' , nombres de dents contenus dans les engrenages.

Application. On a $T_m = 300 \text{ km}$ par seconde, la roue motrice a 100 dents et le pignon 21, le graissage des dents est bien fait et donne $f = 0,08$; il s'agit de trouver quel sera le travail T_u que pourra transmettre l'arbre du pignon en une seconde.

Remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la dernière expression de T_m , on a

$$300 = T_u + T_u \times 0,80 \times 3,14 \left(\frac{1}{100} + \frac{1}{21} \right),$$

d'où l'on tire

$$T_u = \frac{300}{1 + 0,0145} = 295^{\text{km}}, 71.$$

Le travail absorbé par le frottement en une seconde est égal à

$$T_m - T_u = 300 - 295,71 = 4^{\text{km}}, 29.$$

60. Pour les *engrenages coniques*, on fait usage de la première formule (59); seulement au lieu de prendre pour r et r' les rayons des engrenages, on prend les perpendiculaires à la génératrice de contact, prolongées jusqu'aux axes des engrenages; ainsi p et p' (*fig. 4*) étant ces perpendiculaires, on a



$$T_m = T_u + T_u \times \frac{1}{2} f a \left(\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \right).$$

61. Pour une crémaillère commandée par une roue d'engrenage ou commandant une roue d'engrenage, on a

$$T_m = T_u + T_u \times \frac{1}{2} f \frac{a}{r}.$$

a pas de l'engrenage et de la crémaillère;
 r rayon de la circonférence primitive de l'engrenage.

62. Suivant que les engrenages métalliques sont exécutés avec plus ou moins de soin, l'intervalle entre deux dents consécutives est égal à l'épaisseur de la dent, augmentée du $1/20$ à $1/10$ de cette épaisseur, c'est-à-dire qu'il y a de $1/20$ à $1/10$ de jeu entre les dents engrenées; ce jeu varie de $1/10$ à $1/6$ pour les engrenages à dents de bois.

Pour rendre le frottement des engrenages le plus petit possible, on fait les surfaces de contact en épicycloïde ou en développante de cercle; mais à cause des difficultés d'exécution, pour les engrenages ordinaires, on se contente d'arcs de cercle décrits avec le pas de l'engrenage pour rayon et d'un centre pris sur la circonférence primitive ou de contact; le reste des joues de chaque dent est un plan tangent à ces arcs et passant par le centre de la roue. Pour les engrenages coniques, il faudrait prendre des développantes ou des épicycloïdes sphériques, mais on se contente également d'arcs de

cercle. (Voir la résistance des matériaux pour les dimensions des différentes parties des roues d'engrenage.)

63. *Travail absorbé par le frottement du bouton d'une manivelle.*
 Pour obtenir ce travail, on développe la circonférence du bouton de la manivelle et on élève aux différents points de ce développement, que l'on considère comme axe des abscisses, des perpendiculaires ou ordonnées représentant l'intensité du frottement correspondant à ces différents points; l'aire de la courbe ainsi obtenue représente le travail absorbé par le frottement pour une révolution. L'intensité du frottement correspondant à un point quelconque de l'axe des abscisses, est représentée par le coefficient de frottement multiplié par la pression qu'exerce la bielle sur le bouton de la manivelle au moment où son axe rencontre ce bouton au point considéré. Si la bielle exerce un effort constant sur le bouton de la manivelle, le travail absorbé par le frottement est le même que pour un tourillon ordinaire (40), et, pour une révolution de la manivelle, on a

$$T_r = 2\pi r f P.$$

T_r travail absorbé;
 r rayon du bouton de la manivelle;
 f coefficient de frottement;
 P pression constante de la bielle sur le bouton de la manivelle.

Cette formule fait voir que le travail absorbé est proportionnel au rayon r , qu'il faudra par conséquent prendre le plus petit possible; aussi doit-on éviter l'emploi des excentriques pour la transmission des grands efforts; l'expression du travail absorbé par le frottement, étant la même que pour le bouton d'une manivelle, et r étant très-grand puisque c'est le rayon de figure de l'excentrique.

64. Une manivelle peut être à double effet, ou à simple effet; dans le premier cas qui est celui supposé (formule 63), la force qui agit sur la bielle est dirigée dans un sens pendant la première moitié de la révolution de la manivelle, et dans l'autre sens pendant la seconde moitié; dans le deuxième cas, la force n'agit que dans un sens et ne sollicite la manivelle que pendant la moitié de sa révolution.

65. *Équilibre dynamique d'une manivelle à double effet.* Cet équilibre ne peut être que périodique (32), et on doit avoir pour une

période ou un tour de manivelle, en négligeant les frottements,

$$Q \times 2\pi R = F \times 4R, \text{ d'où } Q = \frac{2}{\pi} \times F.$$

- Q résistance agissant sur l'arbre de la manivelle à l'extrémité d'un bras de levier que l'on suppose égal au rayon de la manivelle;
 R rayon de la manivelle;
 $2\pi R$ chemin parcouru par la résistance Q pour un tour de manivelle;
 $Q \times 2\pi R$ travail absorbé par la résistance Q; aussi pour un tour de manivelle;
 F force agissant suivant l'axe de la bielle que l'on suppose assez longue pour qu'on puisse supposer qu'elle reste toujours parallèle à elle-même, et négliger sa variation de direction;
 $4R$ espace parcouru par la puissance F pour un tour de manivelle, c'est-à-dire, pour une allée et une venue de la bielle;
 $F4R$ travail développé par la puissance F, aussi pour un tour de manivelle, ou une allée et une venue de la bielle.

Pour chaque demi-révolution de la manivelle, le moment de la puissance F, par rapport à l'axe de la manivelle, varie pour toutes les positions de la bielle; et les valeurs minima, moyenne et maxima de ce moment, valeurs qui sont les mêmes pour un tour entier de manivelle, sont respectivement :

$$F \times 0, \quad F \times \frac{2}{\pi}, \quad F \times R;$$

quantités qui sont dans le rapport des nombres :

$$0, \quad 0,637, \quad 1;$$

ou

$$0, \quad 1, \quad 1,57.$$

La grande différence de ces nombres proportionnels fait voir combien la marche d'une manivelle doit être irrégulière.

66. *Équilibre dynamique de deux manivelles à double effet montées à angle droit sur le même arbre.* Chaque manivelle agit en particulier comme dans le cas précédent, et leur ensemble ne peut encore donner qu'un équilibre dynamique périodique, pour lequel on doit avoir, pour un tour des manivelles et en négligeant les frottements,

$$Q \times 2\pi R = 2F \times 4R, \text{ d'où } Q = \frac{2}{\pi} \times 2 \times F.$$

- Q et R ont les mêmes significations que dans le cas précédent;
 F force qui agit suivant l'axe de chacune des bielles.

Les sommes de moments, minima, moyenne et maxima des forces F, pour une révolution des manivelles, sont successivement :

$$F \times R, \quad 2F \times \frac{2}{\pi} R, \quad 2F \times \frac{R}{\sqrt{2}};$$

valeurs qui sont dans le rapport des nombres :

$$1, \quad 1,277, \quad 1,414;$$

ou

$$0,783, \quad 1, \quad 1,407.$$

67. *Équilibre dynamique de trois manivelles à double effet montées sur le même arbre, et faisant entre elles des angles égaux.* Cet équilibre ne peut encore être que périodique, et on doit avoir pour une période, en négligeant les frottements,

$$Q \times 2\pi R = 3F \times 4R, \text{ d'où } Q = \frac{2}{\pi} \times 3F.$$

Les lettres ont les mêmes significations que dans le cas précédent; et les sommes de moments, minima, moyenne et maxima des forces F, pour une révolution des manivelles, sont successivement :

$$FR\sqrt{3}, \quad 3F\frac{2}{\pi}R, \quad 2FR;$$

valeurs qui sont dans le rapport des nombres :

$$1,73, \quad 1,91, \quad 2;$$

ou

$$0,905, \quad 1, \quad 1,046.$$

En employant 5, 7, 11..... manivelles convenablement disposées, on augmenterait encore la régularité du mouvement; mais les grandes difficultés d'ajustage font renoncer à l'emploi de plus de trois manivelles montées sur le même arbre.

68. *Équilibre dynamique d'une manivelle à simple effet (64).* Cet équilibre est encore périodique, et on doit avoir pour une révolution complète de la manivelle, en négligeant les frottements,

$$Q \times 2R = F \times 2R, \text{ d'où } Q = \frac{F}{\pi}.$$

Cela suppose que la résistance Q agit, comme pour une manivelle à double effet, pendant la révolution complète.

Les moments, minimum, moyen et maximum de la force F , pour une révolution complète de la manivelle, sont successivement :

$$F \times 0, \quad F \times \frac{R}{\pi}, \quad F \times R;$$

valeurs qui sont dans le rapport des nombres :

$$0, \quad 0,318, \quad 1;$$

ou

$$0, \quad 1, \quad 3,14.$$

69. *Bielle.* Pour qu'une bielle transmette le plus convenablement possible, à une manivelle, l'effort qui la sollicite, il faut que sa longueur soit la plus grande possible; mais, afin de n'être pas obligé de lui donner une section trop considérable, on se contente de lui donner une longueur égale à 5 ou 6 fois le rayon de la manivelle.

70. *Volant pour une manivelle à simple effet, et à double effet.* Afin de rendre possible la marche d'une manivelle, et de régulariser autant que possible son mouvement, on fait usage d'un volant qui accumule l'excès du travail moteur sur le travail résistant, quand ce premier est supérieur au second, pour le restituer quand le travail résistant devient supérieur au travail moteur.

Pour une manivelle à simple effet, le poids du volant est donné par la formule

$$PV^2 = 0,5511 \times F2R \times gK, \quad (a)$$

de laquelle on conclut

$$P = \frac{24324n}{mV^2} K. \quad (b)$$

Pour une manivelle à double effet, on a

$$PV^2 = 0,2105 \times F2R \times gK, \quad (c)$$

d'où on conclut

$$P = \frac{4645n}{mV^2} K. \quad (d)$$

P poids du volant, ou plutôt de sa jante, car on néglige la régularité due aux bras et au moyeu dans l'établissement de ces formules;

V vitesse moyenne de la jante du volant;

F force agissant suivant l'axe de la bielle;

R rayon de la manivelle;

n nombre de chevaux de force produit par la force F en une seconde;
 m nombre de tours du volant par minute.
 K coefficient de régularité du mouvement (77); sa valeur dépend du genre de travail à produire.

Pour une manivelle à simple effet, on conclut (68),

$$n75^{km} = \frac{F2R}{60} m,$$

et pour une manivelle à double effet (65),

$$n75^{km} = \frac{F4R}{60} m.$$

C'est à l'aide de ces relations que l'on passe des formules (a) et (c) aux formules (b) et (d).

Pour les machines à vapeur à basse pression, et pour celles à haute pression à détente et condensation, la valeur du coefficient K varie de 20 à 25 quand ces machines commandent des usines qui n'ont pas besoin d'une grande régularité de mouvement, comme des scieries, des moulins à blé, des pompes, etc; de 35 à 50 quand elles commandent des filatures où l'on fabrique les numéros 40 à 60; et de 50 à 60 pour des filatures à numéros très-fins.

L'examen des formules précédentes fait voir que le poids du volant est d'autant plus petit que la vitesse de la jante est plus grande; l'expérience prouve que cette vitesse peut atteindre 25 à 30 mètres par seconde, mais qu'il est dangereux de dépasser cette limite. Le rayon du volant est ordinairement égal à 5 ou 6 fois celui de la manivelle.

Application. Quel doit être le poids du volant d'une machine à vapeur à détente et condensation, de la force de 20 chevaux, faisant marcher des moulins à blé?

Supposons que le volant fasse 25 tours par minute et que sa jante ait 5^m,00 de diamètre moyen; la vitesse moyenne sera de 6^m,54 par seconde, et on aura, en faisant $K = 25$ et en remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule (d),

$$P = \frac{4645 \times 20}{25(6,54)^2} \times 25 = 2172 \text{ kilog.}$$

M. Morin en appliquant cette formule à une machine à basse pres-

sion, de la force de 40 chevaux, faisant marcher la filature de Logelbach près Colmar, a trouvé pour le poids de la jante du volant 9320 kilog., au lieu de 9450 kilog. comme l'avaient adopté les constructeurs, MM. Watt et Boulton.

Le diamètre moyen de la jante est de 6^m,10, et le nombre de tours du volant 19 par minute, ce qui donne une vitesse de 6^m,06 par seconde; les numéros des fils de coton varient de 40 à 60, ce qui a fait adopter 35 pour la valeur de K.

71. *Volant pour une manivelle à simple effet et à contre-poids.* Si, sur le prolongement d'une manivelle, au delà de son centre de rotation, on place un contre-poids tel que le travail qu'il absorbera en s'élevant et restituera en descendant soit moitié de celui que produit la force motrice pour la 1/2 révolution pendant laquelle elle agit, cette manivelle agira comme une manivelle à double effet, et le poids du volant sera donné par la formule

$$PV^2 + Qv^2 = \frac{4645n}{m} K.$$

P, V, n, m, K, ont les mêmes significations qu'au n° précédent;
Q poids du contre-poids;
v vitesse moyenne du centre de gravité du contre-poids.

Les formules (70) et (71) s'appliquent encore au cas où le volant n'est pas placé sur l'arbre même de la manivelle, pourvu que m exprime toujours le nombre de tours de la manivelle par minute, tandis que V et v expriment les vitesses propres de la jante du volant, et du contre-poids; mais, en pratique, il faut toujours placer le volant sur l'arbre des organes qui rendent irrégulière la transmission ou l'absorption du travail moteur, et le plus près possible de ces organes.

72. *Équilibre dynamique de l'excentrique.* Dans une transmission de mouvement au moyen d'un excentrique, l'équilibre est périodique, et on doit avoir

$$P \times 2\pi R = 4Fd + fF \times 2\pi r.$$

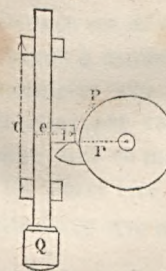
P puissance qui agit sur l'arbre de l'excentrique;
R bras de levier de la puissance;
F résistance appliquée à la bielle que met en mouvement l'excentrique;

d distance du centre de rotation au centre de figure de l'excentrique, ou 1/2 espace parcouru par la résistance pour une demi révolution de l'excentrique;
f coefficient du frottement au pourtour de l'excentrique;
r rayon de figure de l'excentrique.
 $P \times 2\pi R$ travail dépensé par la puissance pour une révolution de l'excentrique;
 $4Fd$ travail utile produit *id.*
 $fF \times 2\pi r$ travail absorbé par le frottement *id.*

L'excentrique présente les mêmes irrégularités de mouvement que la manivelle (65, 66, 67, 68).

73. *Équilibre dynamique du pilon.* Pour qu'il y ait équilibre dynamique dans la marche d'un pilon guidé par deux prisons, et mù par des cames (fig. 5), on doit avoir, pour une levée,

Fig. 5.



$$Ph = Qh + Q \frac{f(e+2l)}{d-f(e+2l)} h + Qh \times \frac{1}{2} f \frac{h}{r}.$$

P force motrice transmise par la came sous l'extrémité du mentonnet placé entre les deux prisons;
h levée du pilon;
Q poids du pilon et de sa tige;

f coefficient de frottement commun aux cames et aux prisons;
l saillie du mentonnet sur la tige du pilon;
e épaisseur de la tige du pilon dans le sens de la longueur du mentonnet;
d distance d'axe en axe des deux prisons ou guides;
r rayon de la circonférence primitive de la bague à cames;
Ph travail dépensé par la force motrice;
Qh travail utile produit;
 $Q \frac{f(e+2l)}{d-f(e+2l)} h$ travail absorbé par le frottement de la tige du pilon contre les prisons;
 $Qh \times \frac{1}{2} f \frac{h}{r}$ travail absorbé par le frottement de la came sous le mentonnet; il ne diffère de celui absorbé par le frottement d'un pignon s'engrenant avec une crémaillère (61), qu'en ce que le pas a est remplacé par h. On n'a tenu compte, dans l'estimation de cette portion du travail absorbé, que du travail transmis Qh, provenant du poids du pilon; on a négligé celui qui provient du frottement contre les prisons, qu'il faudrait ajouter à Qh si l'on voulait avoir le travail absorbé par le frottement de la came sous le mentonnet avec plus d'exactitude.

Les cames se font en développante de cercle.

La durée totale d'un coup de pilon se compose du temps t que met la came à élever le pilon à la hauteur h , du temps $t' = \sqrt{\frac{2g}{h}}$ que met le pilon à descendre, et de $1/10$ à $1/6$ de $t+t'$ pour le temps que met le pilon à agir sur la matière qui peut être plus ou moins compressible.

74. *Choc des corps.* Quand une masse, que l'on suppose dénuée d'élasticité, est en mouvement, si elle en rencontre une autre, aussi dénuée d'élasticité, et au repos; après le choc, on a

$$mV = (m+m')u,$$

d'où l'on tire

$$u = \frac{mV}{m+m'}.$$

- m masse choquante;
 V vitesse de la masse m avant le choc;
 m' masse choquée;
 u vitesse commune aux deux masses après le choc;
 mV quantité de mouvement avant le choc;
 $(m+m')u$ quantité de mouvement après le choc.

En désignant par φ la perte de force vive due au choc, on a

$$\varphi = mV^2 - (m+m')u^2 = \frac{mm'}{m+m'} V^2.$$

Établissant un certain rapport entre m et m' , c'est-à-dire faisant $m' = Nm$, on conclut

$$\varphi = mV^2 \frac{1}{1 + \frac{1}{N}}.$$

Formule qui fait voir que la perte de force vive est d'autant plus petite que la valeur de N est plus petite, c'est-à-dire, que la masse choquante est plus grande par rapport à la masse choquée.

Dans le cas d'une bague à cames faisant mouvoir un marteau, on peut supposer qu'on a, en appelant u la vitesse moyenne de la came,

$$u = \frac{V+u}{2},$$

d'où l'on tire

$$V = 2u' - u;$$

ce qui donne, en remplaçant u par sa valeur et en transformant,

$$V = \frac{2u'(m+m')}{2m+m'}.$$

et par suite

$$\tau = \frac{mm'}{m+m'} \times \frac{4u'^2(m+m')^2}{(2m+m')^2} = mm' \times \frac{4u'^2(m+m')}{(2m+m')^2}.$$

$\omega = \frac{n2\pi R}{60}$ vitesse moyenne qu'on se donne d'avance;

n nombre de tours de la bague à cames par minute;

R rayon de la bague à cames, ou plutôt, distance du point d'impact de la came au centre de la bague.

Dans ce cas m' et m n'expriment pas les masses du marteau et de la bague à cames; elles expriment les masses fictives lesquelles, concentrées aux points qui se frappent, ont le même moment d'inertie, par rapport aux axes de rotation du marteau et de la bague, que ce marteau et cette bague (75).

75. *Force vive que possède une masse tournant autour d'un axe.* Cette force vive est exprimée par

$$\omega^2 mr^2.$$

ω vitesse angulaire; $\omega = \frac{v}{r}$, v étant la vitesse du centre de gravité de la masse;

m masse tournante;

r distance du centre de gravité de la masse à l'axe;

mr^2 est ce qu'on appelle le *moment d'inertie* de la masse m par rapport à l'axe autour duquel elle tourne.

r ne peut être déterminé que pour des corps de formes déterminées et de matières homogènes; pour un cylindre plein tournant autour de son axe, on fait $r = \frac{2}{3} \rho$; ρ étant le rayon extérieur du cylindre.

Une bague à cames peut être considérée, sans erreur sensible, comme étant un cylindre plein, et on a

$$M' = \frac{2\rho}{3R} M.$$

M masse de la bague à cames;

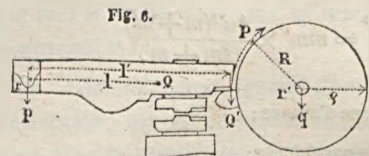
M' masse qu'il faudrait appliquer au point d'impact, c'est-à-dire, au point de la

came, qui frappe le marteau, pour produire le même effet que la bague tournant autour de son axe;

ρ rayon extérieur de la bague sur laquelle sont montées les cames;

R distance du point d'impact à l'axe de rotation.

76. *Équilibre dynamique des marteaux.* Pour appliquer les formules (74) et (75) au marteau frontal (fig. 6), il faut remplacer le poids du marteau et de son manche par un poids appliqué au point d'impact; en



faire autant pour le frottement des tourillons de la hurasse, pour celui des tourillons de l'arbre à cames et pour celui qui s'exerce entre les cames et le marteau; et le travail absorbé pour élever tous ces poids fictifs, augmenté de la moitié de la perte de force vive due au choc, est égal au travail que doit produire la puissance; de sorte que l'équilibre dynamique, pour une minute, est

$$MnPh = Mnh \left(\frac{Ql}{l} + \frac{fpr}{l} + \frac{fqr'}{R} + fQ' \frac{h}{2} \times \frac{R+l'}{Rl'} \right) + \frac{4\rho Mn \cdot mm'V^2(2\rho m + 3Rm')}{(4\rho m + 3Rm')^2}$$

M nombre de cames monté sur la bague;

n nombre de tours de la bague en une minute;

P puissance agissant sur l'arbre à cames à l'extrémité d'un bras de levier égal à la distance du point d'impact à l'axe de l'arbre à cames;

R bras de levier de la puissance P ;

h levée du marteau au point d'impact;

Q poids du marteau et de son manche;

l distance du centre de gravité du marteau et de son manche à l'axe de rotation de la hurasse;

l' distance du point d'impact à l'axe de rotation de la hurasse;

$f = 0,15$ coefficient de frottement des tourillons de la hurasse, et de ceux de l'arbre à cames;

p poids reposant sur les tourillons de la hurasse; c'est la partie du poids du marteau et de son manche supportée par ces tourillons;

r rayon des tourillons de la hurasse;

q pression des tourillons de l'arbre à cames sur leurs coussinets;

r' rayon des tourillons de l'arbre à cames;

$f' = 0,25$ coefficient de frottement des cames sur la tête du marteau;

$Q' = \frac{Ql}{l}$ pression qui s'exerce entre les cames et la tête du marteau, en ne tenant compte que de la pression due au poids du marteau et en négligeant celle qui provient du frottement des tourillons de la hurasse;

ρ rayon extérieur de la bague sur laquelle sont montées les cames;

$m = \frac{q}{g}$ masse totale choquante (bague, arbre, etc.) concentrée dans la bague à cames, c'est-à-dire que l'on suppose que toute la masse choquante est remplacée par un disque unique de rayon ρ , dont le moment d'inertie par rapport à son axe, est égal au moment d'inertie de toute la masse choquante par rapport à cet axe;

$m' = \frac{Ql}{gl'}$ masse choquée transportée au point d'impact;

$V = \frac{2\pi Rn}{60}$ vitesse moyenne des cames au point d'impact;

$MnPh$, travail moteur dépensé par minute;

$Q \frac{l}{l'}$ poids du marteau et de son manche, transporté au point d'impact;

$fpr \frac{r}{l'}$ poids qui, appliqué au point d'impact, produit le même effet que le frottement des tourillons de la hurasse;

$fQ' \frac{h}{2} \times \frac{R+l'}{Rl'}$ frottement des cames sous la tête du marteau; il est analogue à celui des engrenages (59);

$\frac{4\rho Mn \cdot mm'V^2(2\rho m + 3Rm')}{(4\rho m + 3Rm')^2}$ moitié de la perte de force vive due aux chocs des cames sous le marteau; cette expression se déduit de la valeur de φ (74)

dans laquelle on a remplacé la masse m par $\frac{2\rho}{3R}m$ (75), et introduit le nombre Mn de coups frappés en une minute.

Remplaçant dans cette expression du travail absorbé par le choc des cames, m par $\frac{q}{g}$ et m' par $\frac{Ql}{gl'}$, elle devient, en transformant,

$$\frac{4\rho Mnq QlV^2(2\rho ql' + 3RQl)}{g(4\rho ql' + 3RQl)^2}$$

substituant cette expression dans la valeur de $MnPh$, on tire, en divisant par Mnh ,

$$P = \frac{Ql}{l} + \frac{fpr}{l} + \frac{fqr'}{R} + fQ' \frac{h}{2} \times \frac{R+l'}{Rl'} + \frac{4\rho q QlV^2(2\rho ql' + 3RQl)}{gh(4\rho ql' + 3RQl)^2}$$

Pour un autre genre quelconque de marteau on déterminerait la valeur de P en opérant d'une manière analogue.

Les marteaux à bascule, dits martinets, employés à l'étirage et au platinage des petits fers, au raffinage des aciers et à la fabrication de divers outils, frappent de 200 à 400 coups par minute, et leur poids, qui diminue à mesure que le nombre de coups frappé

augmente, varie, non compris le poids du manche qui est en bois, de 80 à 40 kilog. La longueur totale du manche, comptée depuis l'axe de la tête du marteau, varie de 2^m,50 à 3^m,00; le point de rotation est ordinairement aux 2/3 de cette longueur à partir de l'axe de la tête du marteau; cependant il est aux 3/4 et quelquefois plus, quand le marteau doit frapper un grand nombre de coups. Le nombre de cames monté sur la bague varie ordinairement de 14 à 16. Pour une grande vitesse, la levée du marteau varie de 0^m,25 à 0^m,27; pour une petite vitesse elle varie de 0^m,50 à 0^m,55; et pour une vitesse moyenne, elle est comprise entre 0^m,30 à 0^m,40.

Les marteaux à soulèvement, employés particulièrement à l'affinage du fer par la méthode allemande, frappent de 70 à 200 coups à la minute, et leur poids, non compris celui du manche qui est en bois, varie de 300 à 400 kilog. La longueur du manche, comptée depuis l'axe de la tête du marteau jusqu'au point de rotation de la bague, varie de 2^m,10 à 2^m,60, et la distance de cet axe au point frappé par les cames, de 0^m,40 à 0^m,55. Il y a ordinairement 5 cames montées sur la bague. La levée du marteau est de 0^m,55 environ.

Enfin *les marteaux frontaux*, mis en usage dans les forges où l'on fabrique le fer par la méthode anglaise, frappent de 60 à 100 coups par minute, et pèsent, y compris le manche qui est tout en fonte, de 2500 à 4000 kilog., et même quelquefois plus. La longueur du manche, depuis le point d'impact jusqu'à l'axe de rotation, varie de 2^m,30 à 2^m,80. Le nombre de cames est ordinairement égal à 5. La levée du marteau varie de 0^m,35 à 0^m,40.

En pratique, d'après M. Poncelet, le rapport de $\frac{2}{3} \frac{\rho}{R} m$ masse fictive totale choquante, à $m' = \frac{Ql}{gl}$ masse fictive choquée est rarement inférieur à 10. Pour les martinets et marteaux à soulèvement employés à la fabrication du fer, ce rapport n'est pas inférieur à 12; et pour les marteaux frontaux il est au moins 30.

77. *Volant pour marteau*. Le travail produit par la force P (76), pendant la durée totale d'un coup de marteau, étant absorbé pendant l'instant que met la came à soulever le marteau; il faut que le volant, ou l'attirail (roue et arbre à cames) qui le remplace le plus

souvent, accumule, depuis l'instant où une came quitte le marteau jusqu'à l'instant où la came suivante le reprend, une quantité de force vive, double de l'excès du travail A, produit par la force P pendant la durée totale d'un coup sur le travail A' que produit cette force pendant le temps d'action de la came.

Le travail produit par P étant régulier, on aura A et A' quand on connaîtra les temps pendant lesquels ces quantités de travail sont produites. On connaît A puisque l'on connaît le nombre de coups de marteau frappé dans un temps donné, et par suite la durée d'un coup. Comme la vitesse de rotation de la bague est à peu près régulière, à l'aide d'une épure représentant la position des cames sur le manche du marteau, on aura l'arc décrit par la bague pendant l'action de la came, et par suite la durée de cette action, ce qui permettra de déterminer A'. Cette épure servira aussi à déterminer l'écartement à donner aux cames, écartement qui doit être tel, que, pendant l'instant d'inaction de deux cames successives, le marteau ait le temps de réagir sur le rabat et de redescendre sur l'enclume; sans quoi le marteau camerait, c'est-à-dire retomberait sur la came qui arrive pour le soulever, avant d'avoir produit son effet sur le fer. D'après M. Faure, il résulterait, de quelques observations faites par M. Walter de Saint-Ange sur des marteaux et martinets établis, que pour les marteaux à soulèvement, le temps qu'ils mettent à réagir sous le rabat et à redescendre, varie de 1,04 à 1,15 t, et que, pour les martinets, il varie de 0,453 à 0,877 t, suivant que le nombre des coups frappés est respectivement plus grand ou plus petit.

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (7)$$

- t durée de la descente libre du centre de gravité du marteau et du manche;
h levée du centre de gravité du marteau et du manche; h correspond au point où la came quitte le manche du marteau, point auquel doit commencer l'action du rabat.

Les marteaux frontaux marchant lentement, ils ne s'élèvent pas au delà du point où les quittent les cames, de sorte que, sauf le retard causé à la descente par la réaction du marteau sur le fer et par les frottements des tourillons de la hurasse, la durée d'inaction

des cames peut être égale à $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$; mais d'après les observations de M. Walter de Saint-Ange, en pratique, on fait varier cette durée, comme pour les marteaux à soulèvement de 1,04 à 1,15 t .

Soit maintenant Q le poids du volant, v sa vitesse au moment où la came quitte le marteau, et v' sa vitesse au moment où la came suivante commence son action; on devra avoir (16)

$$\frac{Q}{2g}(v'^2 - v^2) = A - A'.$$

Comme on ne connaît pas les valeurs de v' et v , on établit entre elles et la valeur de la vitesse moyenne $V = \frac{2\pi rn}{60}$ (76), une relation dont il ne convient pas de s'écarter en pratique; ainsi on pose

$$v' - v = \frac{V}{K},$$

et comme on peut supposer que l'on a

$$v' + v = 2V,$$

on en conclut

$$(v'^2 - v^2) = \frac{2V^2}{K},$$

et par suite

$$\frac{Q}{2g} \times \frac{2V^2}{K} = \frac{QV^2}{gK} = A - A'.$$

K coefficient de régularité de vitesse, que, dans ce cas, l'on fait égal à 20; la grande régularité n'étant pas de rigueur.

C'est par des considérations analogues qu'on a établi les formules (70 et 71), et que l'on déterminerait le poids d'un volant dans un cas quelconque; quand, toutefois, on connaîtra la durée des actions et de leurs intervalles, et que l'on pourra apprécier le travail absorbé pour chaque action: ainsi pour les laminoirs, ces données ne pouvant être posées d'une manière analytique, on ne peut donner qu'une formule empirique pour calculer le poids de leurs volants.

78. M. Morin donne pour calculer le poids des volants de laminoirs pour les grandes tôles et pour l'étirage des fers en barres, la formule

$$P = \frac{130000 NK}{mV^2}.$$

- P** poids du volant en kilogrammes;
N force en chevaux transmise par le moteur à l'arbre du volant;
V vitesse moyenne de la jante du volant;
m nombre de tours des cylindres en 1';
K coefficient numérique qui est égal: 1° à 20 pour les machines de 80 à 100 chevaux faisant marcher à la fois 6 à 8 équipages de cylindres à tôle ou à fer à barres; 2° à 25 pour les machines de 60 chevaux faisant marcher 4 à 6 équipages pour l'étirage des fers; 3° à 80 pour les machines de 30 à 40 chevaux, ne faisant marcher à la fois qu'un seul équipage de cylindres à grosses tôles, ou deux équipages de cylindres ébaucheurs et finisseurs pour les petits fers.

Les valeurs données pour **K** s'appliquent aux laminoirs conduits par des machines à vapeur, des roues à augets et des roues de côté; mais pour les roues à aubes courbes ou à aubes planes recevant l'eau en dessous, la vitesse étant très-grande, on diminue un peu les valeurs précédentes de **K**.

79. *Force centrifuge.* Lorsqu'une masse tourne autour d'un axe, la force centrifuge, c'est-à-dire la force qui tend à projeter cette masse suivant le rayon de cercle décrit, est exprimée par

$$F = \frac{mV^2}{r}.$$

- F** force centrifuge;
m masse du corps en mouvement;
V vitesse du centre de gravité de la masse;
r rayon de la circonférence décrite par le centre de gravité de la masse.

80. *Pendule simple.* La durée d'une oscillation entière du pendule simple, est

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \text{ d'où } l = \frac{gT^2}{\pi^2}.$$

- T** durée de l'oscillation;
l longueur du pendule.
g accélération de vitesse due à la pesanteur, au point où oscille le pendule (7).

L'expression de la durée d'une oscillation du pendule simple fait voir que, pour un même pendule ou pour des pendules de même longueur; les oscillations sont isochrones, c'est-à-dire, de même durée, partout où la valeur de g est la même.

De l'expression de la durée d'une oscillation on conclut aussi:

1° Que pour deux pendules de longueurs différentes, oscillant dans des lieux pour lesquels la valeur de g est différente, on a

$$T : T' :: \sqrt{\frac{l}{g}} : \sqrt{\frac{l'}{g}};$$

2° Que pour deux pendules de longueurs différentes, oscillant dans un même lieu ou dans des lieux où la valeur de g est la même, on a

$$T : T' :: \sqrt{l} : \sqrt{l'};$$

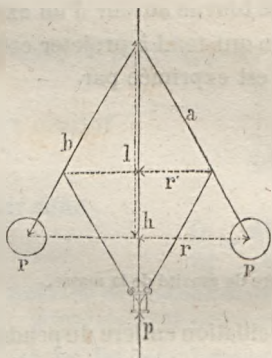
3° Que pour un même pendule ou pour deux pendules de même longueur, oscillant dans des lieux où g n'a pas la même valeur, on a

$$T : T' :: \sqrt{g} : \sqrt{g'}.$$

A Paris la longueur du pendule simple qui bat les secondes est 0^m,99384.

81. *Pendule conique.* (Fig. 7). La durée d'une oscillation du pendule conique, c'est-à-dire le temps que met la boule à faire une révolution autour de l'axe est

Fig. 7.



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

- T durée de l'oscillation; la formule fait voir qu'elle est double de celle du pendule simple de même longueur (80).
 l longueur du pendule conique; ce n'est pas la longueur de la tige du pendule; mais seulement la projection de cette tige sur la verticale; nous l'appellerons hauteur du pendule.

L'isochronisme des oscillations a lieu dans les mêmes circonstances que pour le pendule simple (80), et les proportions posées (80) se reproduisent également pour le pendule conique.

Ce qui vient d'être dit s'applique au cas où le pendule a plusieurs boules, comme au cas où il n'en a qu'une.

L'équilibre statique du pendule conique est, en négligeant le poids des tiges, et la force centrifuge produite par la rotation de ces tiges

$$Fl = Pr.$$

- F force centrifuge qui sollicite chaque boule (79);
 P poids d'une boule;
 r rayon du cercle décrit par le centre de gravité des boules.

Le poids de chacune des boules d'un pendule conique est donné par la formule

$$P = \frac{pa(bh + al)(n-1)^2}{(2n-1)2b^2h}.$$

- P poids d'une boule;
 p force qu'il faut appliquer au manchon inférieur, au repos et avant que les boules soient en place, pour le soulever ainsi que les tiges, quand il est dans la position

qui correspond à la vitesse de régime pour laquelle on a $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$; on

détermine p au moyen d'une balance, ou d'un fil très-flexible passant sur une petite poulie très-mobile; p comprend aussi l'effort à produire sur le manchon pour manœuvrer la soupape régulatrice.

- a distance du point d'oscillation supérieur au point où les tiges supérieures s'articulent avec les tiges inférieures, mesurée sur les tiges mêmes;
 b longueur totale de chacune des tiges supérieures;
 h projection de chacune des tiges inférieures sur la verticale;
 l hauteur du pendule ou projection de b sur la verticale;
 n coefficient de latitude de durée d'oscillation, avant que le pendule modère la vitesse de la machine;

La durée d'oscillation correspondant à la vitesse de régime de la machine étant

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \text{ d'où } l = \frac{gT^2}{4\pi^2};$$

La formule précédente donne le poids de chaque boule pour que le pendule agisse sur la soupape régulatrice, dès que la durée d'oscillation est

$$T = T \frac{n-1}{n},$$

ce qui donne

$$l = \frac{gT^2 \frac{(n-1)^2}{n^2}}{4\pi^2}.$$

La valeur de n dépend de la nature du travail à produire; elle est ordinairement comprise entre 10 et 20.

A l'aide d'une épure, on détermine la quantité dont s'élève le manchon pour la différence $l-l'$ des hauteurs du pendule.

On obtient la vitesse correspondant à T , au moyen d'une poulie

fixée au pendule, et à laquelle on transmet le mouvement à l'aide d'une corde ou d'une courroie sans fin qui communique avec l'arbre de la machine.

Quand les tiges du pendule forment entre elles un parallélogramme, disposition qu'il convient d'adopter, quand rien ne s'y oppose, la formule qui donne le poids d'une boule devient

$$P = \frac{pa(n-1)^2}{(2n-1)b}$$

Dans l'établissement de ces formules qui donnent la valeur de P, on a négligé la force centrifuge produite par la rotation des tiges; les résultats obtenus sont donc un peu faibles.

En pratique on fait les boules creuses, et on y introduit peu à peu de la grenaille de plomb, que l'on fait fondre quand le poids de la boule est tel, que la soupape régulatrice fonctionne dès qu'on a $T' = T \frac{n-1}{n}$.

82. *Treuil régulateur.* Le rayon à donner au treuil (fig. 8) au point correspondant à la position d'une spire quelconque de la corde qui s'enroule, pour que l'effort à produire pour manœuvrer le treuil reste constant, malgré la plus ou moins grande longueur de corde déroulée, est donné par la formule

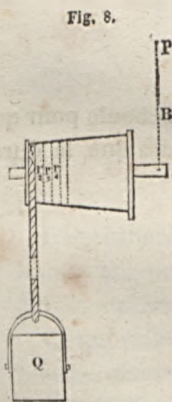


Fig. 8.

$$r + e = \frac{PB}{Q + pl}$$

- r rayon cherché;
- e rayon de la corde;
- P force motrice;
- B bras de levier de la force motrice;
- Q poids élevé;
- p poids du mètre de longueur de corde;
- l longueur de la corde déroulée.

La corde venant toujours se placer à côté d'elle-même, à mesure qu'elle s'enroule; dès qu'on a son diamètre, on a à très-peu près la position des différentes spires suivant la longueur de l'axe du

treuil, en portant successivement le diamètre de la corde suivant la longueur de cet axe.

La longueur de corde déroulée après un nombre quelconque n de révolutions du treuil est

$$l_n = L - 2\pi[ne + (r^2 + r^2 + r_3 + \dots + r_n)].$$

- l_n longueur de corde déroulée;
- L longueur totale de la corde;
- n nombre de spires qui se trouvent sur le treuil;
- $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ rayons du treuil, correspondant à la 1^e, 2^e, 3^e, ... n^e spire.

Comme, théoriquement, le treuil régulateur différerait très-peu d'un tronc de cône, en pratique on se contente de cette forme dont le petit et le grand rayon se tirent successivement des formules :

$$r + e = \frac{PB}{Q + pL}, \quad R + e = \frac{PB}{Q}$$

- r petit rayon du treuil;
- R grand rayon du treuil.

Pour l'exploitation des mines, on fait usage du treuil régulateur; et afin de ne pas perdre de temps pendant sa manœuvre, on emploie deux cordes, une qui s'enroule et monte la charge, l'autre qui se déroule et descend à vide; cette disposition exige l'emploi de deux treuils semblables à celui (fig. 8), montés sur le même axe, accolés par leurs grandes bases, et dont les rayons sont calculés d'après les considérations suivantes :

1^o Quand un fardeau est en bas, sa corde est complètement déroulée, tandis que l'autre est complètement enroulée et non chargée; on a donc

$$PB = (Q + pL)(r + e),$$

d'où on tire

$$r + e = \frac{PB}{Q + pL}$$

2^o Pour le fardeau qui arrive en haut, la corde est complètement enroulée, tandis que l'autre est entièrement déroulée; on a donc

$$PB = Q(R + e) - pL(r + e)$$

d'où on tire, en remplaçant $r + e$ par sa valeur (1°),

$$R + e = \frac{PB}{Q} + \frac{pLPB}{Q(Q + pL)} = \frac{PB}{Q} \left(1 + \frac{pL}{Q + pL} \right).$$

r petit rayon de chaque treuil ;
 R grand rayon de chaque treuil.

On fait encore usage d'un autre genre de treuil appelé *bobine*, dans lequel la corde, qui est plate, ou la courroie, s'enroule sur elle-même, de manière qu'après chaque tour son épaisseur s'ajoute au rayon de la bobine, c'est-à-dire, au bras de levier de la résistance : comme il est impossible de bien régulariser cette machine, nous nous contenterons de la citer.

83. *Sonnette à tiraudes*. Le tableau (20) fait voir que l'effet maximum fourni par l'homme employé dans les circonstances de cette machine, correspond à un effort de 18^k , à une vitesse moyenne de $0^m,20$ par seconde, et à une durée de travail journalière de 6 heures. Dans les chantiers de construction, la durée du travail est de 9 à 10 heures par jour ; mais comme le $1/3$. à peu près de ce temps est employé à disposer les appareils, on peut considérer 6 heures comme étant la durée du travail effectif journalier.

A la construction du pont d'Iéna, on travaillait 10 heures par jour, la levée du marteau était de $1^m,45$, on donnait moyennement 12 volées de chacune 30 coups à l'heure, le poids du mouton était de 587^k , et il était manœuvré par 38 hommes. De ces données il résulte que l'effort produit par chaque homme était seulement de $15^k,45$, avec une vitesse moyenne de $0^m,145$ par seconde ; mais cela, en négligeant les frottements de l'axe de la poulie, la roideur de la corde et l'effet de l'obliquité des divers cordons tirés par un aussi grand nombre d'hommes ; de plus la levée $1,45$ étant un peu forte, l'effort produit par les hommes devait être diminué ; il convient que la levée du mouton soit comprise entre $1^m,30$ et $1^m,40$.

84. *Sonnette à déclie*. Pour la sonnette à déclie, la puissance est donnée par la formule

$$P = (Q + q + q') \frac{r' r}{r r'}$$

P puissance agissant sur la manivelle ;
 r rayon de la manivelle ;
 r' rayon du pignon monté sur l'arbre de la manivelle ;

r'' rayon de la roue d'engrenage montée sur l'axe du treuil, et avec laquelle s'engrène le pignon de rayon r' ;
 r''' rayon du treuil ;
 Q poids du mouton ;
 q résistance due à la roideur de la corde sur la poulie (42) ;
 q' résistance due à la roideur de la corde sur le treuil.

On a, dans cette formule, négligé le frottement des axes et des engrenages, dont on tiendrait facilement compte (40 et 59).

Ce genre de sonnette est surtout avantageux quand il s'agit de manœuvrer de lourds moutons, ceux de 400 à 500^k et même au delà ; toutes choses égales d'ailleurs, le prix de revient du battage des pieux n'est que les $0,65$ à $0,70$ de celui du battage avec la sonnette à tiraudes.

85. *Battage des pieux*. L'expérience prouve que l'enfoncement des pieux est proportionnel au produit de la masse du mouton plus la masse du pieu, par le carré de la vitesse commune de ces deux masses après le choc ; c'est-à-dire, à

$$(m + m') u^2 = (m + m') \frac{m^2 V^2}{(m + m')^2} = \frac{m^2 V^2}{m + m'}, \quad (74).$$

On a $V^2 = 2gh$, l'enfoncement est donc proportionnel à

$$\frac{2gm^2h}{m + m'} = \frac{2gmh}{1 + \frac{m'}{m}}.$$

u vitesse commune au mouton et au pieu après le choc ;
 V vitesse du mouton avant le choc ;
 m masse du mouton ;
 m' masse du pieu ;
 h levée du mouton.

L'expression $\frac{2gm^2h}{m + m'}$ fait voir que pour une même masse de mouton, l'enfoncement d'un même pieu est proportionnel à la levée du mouton ; et l'expression $\frac{2gmh}{1 + \frac{m'}{m}}$ fait voir que pour un même produit mh , l'effet sera d'autant plus grand que la masse m sera plus grande, et que par conséquent pour l'économie du travail qui est représenté par mh , il faudra prendre de gros moutons qu'on élèvera

à une hauteur modérée de 2,50 à 3 ou 4 mètres. Pour les derniers coups frappés sur un pieu, on peut porter la hauteur h à 5 ou 6 mètres.

On considère un pieu comme battu au refus absolu quand il ne s'enfonce plus que de 0^m,005 par volée de 30 coups, ou par coup d'un mouton de sonnette à déclat tombant d'une hauteur de 4 à 5 mètres; mais il arrive souvent que l'on arrête le battage, que cet enfoncement est encore de 0^m,025 et quelquefois plus.

86. *Manège*. En supposant que dans un manège une résistance agisse tangentielle à un tambour horizontal, comme cela a lieu généralement, et que sur l'arbre de ce tambour soit monté un pignon conique qui s'engrène avec une roue conique montée sur l'arbre vertical du manège; le travail dépensé par la puissance appliquée à l'extrémité des flèches sera égal au travail absorbé par la résistance tangentielle au tambour, par le frottement des tourillons de ce tambour, par celui des engrenages, et par celui des tourillons de l'arbre vertical; et, pour une révolution du manège, l'équilibre dynamique donnera

$$P \times 2R = Q'f \times 2\pi r + Q''f \times \frac{2}{3}\pi r +$$

$$\frac{R'}{R''} \left[(Q'f \times 2\pi r' + F \times 2\pi R'') f \pi \left(\frac{1}{m} + \frac{1}{m'} \right) + Q'f \times 2\pi r' + F \times 2\pi R'' \right].$$

P puissance agissant à l'extrémité des flèches;

R bras de levier de la puissance ou longueur des flèches;

Q' Somme moyenne des pressions sur les tourillons de l'arbre vertical; on calculera la pression sur chaque tourillon en opérant comme pour le treuil (57); mais comme cette pression varie pour chaque position de la puissance, on prendra une moyenne entre sa plus grande et sa plus petite valeur;

r rayon des tourillons de l'arbre vertical;

f coefficient de frottement, que l'on suppose commun à tous les tourillons ainsi qu'à la face horizontale du pivot inférieur de l'arbre vertical;

Q'' pression de la face horizontale du pivot inférieur de l'arbre vertical, sur la crapaudine;

R' rayon de la roue conique montée sur l'arbre du manège;

R'' rayon du pignon conique monté sur l'axe du tambour;

R''' rayon du tambour plus celui de la corde;

Q somme des pressions des deux tourillons de l'arbre du tambour sur leurs coussinets (57);

r' rayon des tourillons de l'arbre du tambour;

F résistance agissant tangentielle au tambour; elle se compose du poids élevé, du poids de la corde et de la roideur de cette corde;

f' coefficient de frottement des engrenages;

m nombre de dents du pignon;

m' nombre de dents de la roue;

$P \times 2\pi R$ travail dépensé par la puissance;

$Q'f \times 2\pi r$ travail absorbé par le frottement latéral des pivots de l'arbre du manège;

$Q''f \times \frac{2}{3}\pi r$ travail absorbé par le frottement de la face horizontale du pivot inférieur de l'arbre du manège;

$\frac{R'}{R''} Q'f \times 2\pi r'$ travail absorbé par le frottement des tourillons de l'arbre du tambour;

$\frac{R'}{R''} F \times 2\pi R'''$, travail absorbé par la résistance F agissant tangentielle au tambour;

$\frac{R'}{R''} (Q'f \times 2\pi r' + F \times 2\pi R''') f \pi \left(\frac{1}{m} + \frac{1}{m'} \right)$ travail absorbé par le frottement des engrenages (59).

En négligeant tous les frottements, ainsi que le poids et la roideur de la corde, l'équilibre dynamique serait, pour une révolution du manège,

$$P \times 2\pi R = \frac{R'}{R''} F' \times 2\pi R''$$

d'où l'on tire

$$P = F' \frac{R'R'''}{R''}$$

F' poids élevé par la corde qui s'enroule sur le tambour.

Le rayon d'un manège ne doit pas être inférieur à 2^m,50 et il convient de lui donner de 3 à 4 mètres.

87. *Chevaux de manège, soins à leur donner*. Les chevaux courts et trapus conviennent pour le manège, leur taille mesurée sur le garrot peut varier de 1^m,45 à 1^m,55.

Un cheval moyen peut produire une traction de 360 kil. quand il ne prend aucune vitesse, mais quand il marche, la traction qu'il peut produire n'est que le 1/4 environ de cette quantité; on compte sur 80 à 90 kil. au maximum pour une vitesse moyenne de 1^m par seconde, et pour un temps qui n'est pas trop prolongé. Le plus souvent, les chevaux employés au manège étant fatigués et presque usés, ils ne produisent qu'une traction de 40 à 50 kil. avec une vitesse de 0^m,90 à 1^m,00 par seconde (20).

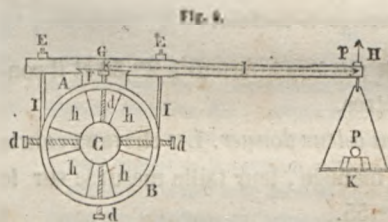
Le travail ne doit pas avoir une durée de plus de 3 heures, et être suivi d'un repos d'une durée au moins égale; et dans un travail

continu le repos doit être de 4 heures pour 2 heures de travail, ce qui fait 8 heures d'un travail effectif par jour.

Les heures de repos et de pansage des chevaux doivent être régulières; leur nourriture doit être peu échauffante, aussi ne doit-on leur donner que peu d'avoine; ils mangent ordinairement, en 24 heures, 10 kil. de foin et 4 à 5 kil. de son; mais il serait plus convenable de leur donner 5 kil. de foin, 5 kil. de paille et 8 litres d'avoine. Le foin doit être vert, légèrement aromatique, fin, sec et flexible; on doit préférer le foin de plaine ou de terrains légèrement inclinés à celui de marais qui est malsain. La paille de froment non barbu est la meilleure comme nourriture, elle doit être nouvelle et de couleur jaune doré. L'avoine doit être pesante, lisse, sans mauvaise odeur, bien nettoyée; sa couleur est indifférente; elle doit peser au moins 42 kilog. l'hectolitre si elle est nouvelle, et 40 kilog. si elle est déjà vieille; elle ne doit être donnée aux chevaux que 4 à 5 mois après sa récolte.

L'eau doit être donnée aux chevaux à la température de l'atmosphère; celle de pluie ou de rivière est la meilleure; on doit rejeter celle qui est croupie et celle qui ne dissout pas le savon.

88. *Frein dynamométrique.* Cet appareil (fig. 9) a pour but de



servir à déterminer le travail absorbé par les différents appareils que commande l'arbre moteur d'une machine, en le remplaçant par le travail, acile à évaluer, absorbé par un simple frottement produit sur cet arbre.

- AB bague en fonte que l'on centre sur l'arbre moteur C, au moyen des vis *d, d,...*;
h, h,... cales fixant la bague AB sur l'arbre C;
 E, E écrous servant à serrer la bague AB entre le coussinet F fixé au levier GH, et le lien en fer II;
 K plateau de balance fixé à l'extrémité du levier GH.

Supposons qu'après avoir assujéti le levier GH dans une position horizontale, on serre la bague AB entre le coussinet F et le lien II; la vitesse de rotation de l'arbre A ira en diminuant à mesure

que le serrage augmentera, et finira par atteindre la vitesse de régime; alors le travail absorbé par le frottement de la bague AB sera égal au travail absorbé par les différents appareils que commandait l'arbre A. Si, maintenant, on rend libre le levier GH, il sera entraîné par le frottement de la bague AB, et tournera avec l'arbre C; mais si on place dans le plateau K un poids P, tel que ce levier ne soit plus entraîné et ne fasse qu'osciller légèrement en dessus et en dessous de la position horizontale, le travail absorbé par le frottement de la bague AB sera encore égal au travail absorbé par la force $P + p$ agissant à l'extrémité du levier l , et on aura, pour une révolution de l'arbre C,

$$T_u = F \times 2\pi r = (P + p)2\pi l.$$

- T_u travail transmis par l'arbre moteur C, ou travail absorbé par les différents appareils que commande cet arbre;
 F frottement de la bague AB contre le coussinet F et le lien II;
 P poids placé dans le plateau K;
 p force verticale qu'il faut appliquer au point H, pour maintenir le levier GH dans une position horizontale quand il repose en G sur un couteau ordinaire de balancier; on détermine p , au moyen d'une balance, ou d'un fil flexible passant sur une poulie très-mobile.

Tout est connu dans l'expression $(P + p)2\pi l$, on connaît donc T_u .

Application. Soit $p = 30$ kil., $P = 100$ kil. et $l = 2^m,50$; il s'agit de déterminer le travail transmis par l'arbre moteur en chevaux vapeur, sachant que cet arbre fait 40 révolutions par minute.

On a, pour une révolution, en remplaçant les lettres par leurs valeurs,

$$T_u = (100 + 30)2 \times 3,14 \times 2,50 = 2041 \text{ kilogrammètres,}$$

et pour une seconde, on a

$$T_u = 2041 \frac{40}{60} = 1360^{\text{kgm}},66 = \frac{1360,66}{75} = 18,14 \text{ chevaux vapeur.}$$

Quand on n'a pas de bague à sa disposition, et que l'arbre moteur est cylindrique, on peut produire le frottement directement sur l'arbre si son diamètre est suffisant. On remplace quelquefois le lien en fer II par un simple morceau de bois que l'on creuse un peu, afin qu'il frotte par une plus grande surface.

Les surfaces frottantes doivent avoir une certaine étendue, afin que la pression n'atteigne pas la limite qui pourrait les altérer. Pour une force de 6 à 8 chevaux, il convient que l'arbre ou la bague, faisant 20 à 30 tours par minute, ait 0,16 de diamètre; pour une force de 15 à 25 chevaux, il convient que, pour 15 à 30 tours, ce diamètre varie de 0^m,30 à 0^m,40; et pour une force de 40 à 70 chevaux ce diamètre doit varier de 0^m,65 à 0^m,80 pour une vitesse de 15 à 30 tours par minute.

L'arbre ou la bague doit être parfaitement cylindrique, et on doit avoir soin de roder pendant quelque temps les surfaces frottantes l'une sur l'autre; sans cela le frein n'avancerait sur l'arbre que par secousse, et ne donnerait que des résultats incertains.

ÉCOULEMENT DE L'EAU.

89. *Écoulement en mince paroi.* Lorsque l'écoulement a lieu en mince paroi, c'est-à-dire lorsque l'épaisseur de la paroi dans laquelle est pratiqué l'orifice d'écoulement est moindre que la plus petite dimension de l'orifice, et au maximum de 0^m,05 à 0^m,06; la vitesse avec laquelle l'eau s'écoule, lorsque sa vitesse est à peu près nulle dans le vase, est très-sensiblement donnée par la formule de Toricelli

$$V = \sqrt{2gh}, \text{ d'où } h = \frac{V^2}{2g}.$$

V vitesse d'écoulement que nous appellerons *vitesse théorique*; la *vitesse réelle* est moindre, mais seulement de 0,01 à 0,02 de *V*; cette diminution de vitesse est due au frottement de l'eau contre les parois de l'orifice, et surtout à la résistance de l'air;

h hauteur génératrice; c'est la hauteur du niveau du liquide au-dessus du centre de gravité de l'orifice.

La formule fait voir que dans le cas d'écoulement de l'eau en mince paroi, la vitesse théorique est celle qu'acquerrait un grave tombant dans le vide de la hauteur *h* (n° 7, en remplaçant, dans la valeur de *V*, *t* par sa valeur et *E* par *h*).

90. TABLEAU des hauteurs *h* correspondant à différentes valeurs de la vitesse théorique *V*.

VITESSE.	HAUTEUR.	VITESSE.	HAUTEUR.	VITESSE.	HAUTEUR.	VITESSE.	HAUTEUR.
m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
0.01	0.00001	0.85	0.0368	3.20	0.5220	6.70	2.2883
0.02	0.00002	0.90	0.0413	3.30	0.5551	6.80	2.3571
0.03	0.00003	0.95	0.0460	3.40	0.5893	6.90	2.4269
0.04	0.00009	1.00	0.0510	3.50	0.6244	7.00	2.4978
0.05	0.00013	1.05	0.0562	3.60	0.6606	7.10	2.5696
0.06	0.00019	1.10	0.0617	3.70	0.6978	7.20	2.6425
0.07	0.00026	1.15	0.0674	3.80	0.7361	7.30	2.7164
0.08	0.00034	1.20	0.0734	3.90	0.7753	7.40	2.7914
0.09	0.00043	1.25	0.0797	4.00	0.8156	7.50	2.8673
0.10	0.00051	1.30	0.0861	4.10	0.8569	7.60	2.9443
0.11	0.00062	1.35	0.0929	4.20	0.8992	7.70	3.0223
0.12	0.00074	1.40	0.0999	4.30	0.9425	7.80	3.1013
0.13	0.00087	1.45	0.1072	4.40	0.9869	7.90	3.1813
0.14	0.00101	1.50	0.1147	4.50	1.0322	8.00	3.2624
0.15	0.00115	1.55	0.1225	4.60	1.0786	8.10	3.3445
0.16	0.00131	1.60	0.1305	4.70	1.1260	8.20	3.4275
0.17	0.00148	1.65	0.1388	4.80	1.1744	8.30	3.5116
0.18	0.00166	1.70	0.1473	4.90	1.2239	8.40	3.5968
0.19	0.00185	1.75	0.1561	5.00	1.2744	8.50	3.6829
0.20	0.00204	1.80	0.1651	5.10	1.3258	8.60	3.7701
0.22	0.00247	1.85	0.1745	5.20	1.3784	8.70	3.8583
0.24	0.00294	1.90	0.1840	5.30	1.4319	8.80	3.9475
0.26	0.00345	1.95	0.1938	5.40	1.4864	8.90	4.0377
0.28	0.00400	2.00	0.2039	5.50	1.5420	9.00	4.1290
0.30	0.00459	2.10	0.2248	5.60	1.5986	9.10	4.2212
0.35	0.00624	2.20	0.2467	5.70	1.6562	9.20	4.3145
0.40	0.00816	2.30	0.2696	5.80	1.7148	9.30	4.4088
0.45	0.01030	2.40	0.2936	5.90	1.7744	9.40	4.5041
0.50	0.01270	2.50	0.3186	6.00	1.8351	9.50	4.6005
0.55	0.0154	2.60	0.3446	6.10	1.8968	9.60	4.6978
0.60	0.0184	2.70	0.3716	6.20	1.9595	9.70	4.7962
0.65	0.0215	2.80	0.3996	6.30	2.0232	9.80	4.8956
0.70	0.0250	2.90	0.4287	6.40	2.0879	9.90	4.9960
0.75	0.0287	3.00	0.4588	6.50	2.1537	10.00	5.0975
0.80	0.0326	3.10	0.4899	6.60	2.2205		

91. *Écoulement à gueule-bée.* Lorsque l'écoulement a lieu à gueule-bée, c'est-à-dire lorsque les filets fluides se rapprochent des parois de l'orifice, ce qui a lieu quand l'épaisseur de la paroi est égale au moins à une fois et 1/2 sa plus petite dimension, ou que cet orifice est prolongé d'un ajutage dont la longueur est égale à 2 ou 3 fois la plus petite dimension de l'orifice; on a, dans les cas ordinaires d'écoulement de l'eau,

$$V' = 0,82V = 0,82\sqrt{2gh}.$$

V' vitesse réelle avec laquelle l'eau s'écoule;

$V = \sqrt{2gh}$ vitesse d'écoulement théorique ;

h hauteur génératrice, ou hauteur du niveau du liquide, au-dessus du centre de gravité de l'orifice.

92. Lorsque l'écoulement a lieu par un orifice noyé sur les deux faces, on a

$$V = \sqrt{2g(h-h')}.$$

V vitesse théorique d'écoulement ;

h hauteur du niveau de l'eau dans le vase alimentaire, au-dessus du centre de gravité de l'orifice ;

h' hauteur du niveau de l'eau dans le vase alimenté, au-dessus du centre de gravité de l'orifice ;

$(h-h')$ différence de niveau de l'eau dans les deux vases, ou hauteur génératrice.

93. Si le liquide qui s'écoule était soumis à une pression étrangère, à celle d'un piston, par exemple, on aurait

$$V = \sqrt{2g(h+h')}.$$

V vitesse théorique ;

h hauteur du niveau du liquide au-dessus du centre de gravité de l'orifice ;

h' pression exercée par le piston, évaluée en une hauteur du liquide qui s'écoule.

94. *Dépense théorique par un orifice d'écoulement.* En négligeant la diminution de vitesse et la contraction de la veine à la sortie de l'orifice, ce qui suppose le parallélisme des tranches ; c'est-à-dire, que toute la masse du liquide est composée de tranches très-minces, normales à la direction du mouvement du liquide, se mouvant en restant constamment parallèles à elles-mêmes, conservant toujours le même volume, et ne faisant que s'élargir ou se rétrécir, suivant que le vase dans lequel elles se meuvent s'élargit ou se rétrécit ; la dépense, que nous appellerons *dépense théorique*, est

$$Q = SV.$$

Q dépense théorique, ou volume d'eau écoulée, théoriquement, par seconde ;

S Section de l'orifice ;

$V = \sqrt{2gh}$ vitesse théorique d'écoulement (90).

95. *Dépense effective.* La quantité d'eau qui s'écoule réellement par un orifice se nomme *dépense effective* ; elle est toujours plus petite que la dépense théorique ; on a

$$Q = KSV.$$

Q dépense effective ;

SV dépense théorique (24) ;

K coefficient, dit *coefficient de contraction*, ou mieux, *coefficient de la dépense* : c'est le rapport de la dépense effective à la dépense théorique ; sa valeur dépend surtout de la charge sur l'orifice d'écoulement, de la forme de cet orifice, et de sa position par rapport aux parois du vase.

96. *Contraction complète de la veine.* Pour que la contraction soit complète, c'est-à-dire pour qu'elle s'opère sur tout le contour de l'orifice, il faut que cet orifice soit éloigné du fond et des parois du vase d'au moins une fois et 1/2 à 2 fois sa plus petite dimension. C'est pour ce cas et pour des orifices rectangulaires verticaux que MM. Poncelet et Lesbros ont déterminé les valeurs du coefficient de la dépense, consignées dans le tableau suivant.

1° Les charges étant la hauteur du niveau, en un point où l'eau est stagnante, au-dessus de l'arête supérieure de l'orifice.

CHARGE sur le sommet des orifices.	Valeurs du coefficient k pour des hauteurs d'orifice de					
	0 ^m .20	0 ^m .10	0 ^m .05	0 ^m .03	0 ^m .02	0 ^m .01
m.						
0.000	»	»	»	»	»	»
0.005	»	»	»	»	»	0.705
0.010	»	»	0.607	0.630	0.660	0.701
0.015	»	0.593	0.612	0.632	0.660	0.697
0.020	0.572	0.596	0.615	0.634	0.659	0.694
0.030	0.578	0.600	0.620	0.638	0.659	0.688
0.040	0.582	0.603	0.623	0.640	0.658	0.683
0.050	0.585	0.605	0.625	0.640	0.658	0.679
0.060	0.587	0.607	0.627	0.640	0.657	0.676
0.070	0.588	0.609	0.628	0.639	0.656	0.673
0.080	0.589	0.610	0.629	0.638	0.656	0.670
0.090	0.591	0.610	0.629	0.637	0.655	0.668
0.100	0.592	0.611	0.630	0.637	0.654	0.666
0.120	0.593	0.612	0.630	0.636	0.653	0.663
0.140	0.595	0.613	0.630	0.635	0.651	0.660

CHARGES sur le sommet de l'orifice.	Valeurs du coefficient k pour des hauteurs d'orifice de					
	0 ^m .20	0 ^m .10	0 ^m .05	0 ^m .03	0 ^m .02	0 ^m .01
m.						
0.160	0.596	0.614	0.631	0.634	0.650	0.658
0.180	0.597	0.615	0.630	0.634	0.649	0.657
0.200	0.598	0.615	0.630	0.633	0.648	0.655
0.250	0.599	0.616	0.630	0.632	0.646	0.653
0.300	0.600	0.616	0.629	0.632	0.644	0.650
0.400	0.602	0.617	0.628	0.631	0.642	0.647
0.500	0.603	0.617	0.628	0.630	0.640	0.644
0.600	0.604	0.617	0.627	0.630	0.638	0.642
0.700	0.604	0.616	0.627	0.629	0.637	0.640
0.800	0.605	0.616	0.627	0.629	0.636	0.637
0.900	0.605	0.615	0.626	0.628	0.634	0.635
1.000	0.605	0.615	0.626	0.628	0.633	0.632
1.100	0.604	0.614	0.625	0.627	0.631	0.629
1.200	0.604	0.614	0.624	0.626	0.628	0.626
1.300	0.603	0.613	0.622	0.624	0.625	0.622
1.400	0.603	0.612	0.621	0.622	0.622	0.618
1.500	0.602	0.611	0.620	0.620	0.619	0.615
1.600	0.602	0.611	0.618	0.618	0.617	0.613
1.700	0.602	0.610	0.617	0.616	0.615	0.612
1.800	0.601	0.609	0.615	0.615	0.614	0.612
1.900	0.601	0.608	0.614	0.613	0.612	0.611
2.000	0.601	0.607	0.613	0.612	0.612	0.611
3.000	0.601	0.603	0.606	0.608	0.610	0.609
2° Les charges étant la hauteur du niveau de l'eau, immédiatement au-dessus de l'orifice, au-dessus de l'arête supérieure de cet orifice.						
0.000	0.619	0.667	0.713	0.766	0.783	0.795
0.005	0.597	0.630	0.668	0.725	0.750	0.778
0.010	0.595	0.618	0.642	0.687	0.720	0.762
0.015	0.594	0.615	0.639	0.674	0.707	0.745
0.020	0.594	0.614	0.638	0.668	0.697	0.729

CHARGES sur le sommet des orifices.	Valeurs du coefficient k pour des hauteurs d'orifice de					
	0 ^m .20	0 ^m .10	0 ^m .05	0 ^m .03	0 ^m .02	0 ^m .01
m.						
0.030	0.593	0.613	0.637	0.659	0.685	0.708
0.040	0.593	0.612	0.636	0.654	0.678	0.695
0.050	0.593	0.612	0.636	0.651	0.672	0.686
0.060	0.594	0.613	0.635	0.647	0.668	0.681
0.070	0.594	0.613	0.635	0.645	0.665	0.677
0.080	0.594	0.613	0.635	0.643	0.662	0.675
0.090	0.595	0.614	0.634	0.641	0.659	0.672
0.100	0.595	0.614	0.634	0.640	0.657	0.669
0.120	0.596	0.614	0.633	0.637	0.655	0.665
0.140	0.597	0.614	0.632	0.636	0.653	0.661
0.160	0.597	0.615	0.631	0.635	0.651	0.659
0.180	0.598	0.615	0.631	0.634	0.650	0.657
0.200	0.599	0.615	0.630	0.633	0.649	0.656
0.250	0.600	0.616	0.630	0.632	0.646	0.653
0.300	0.601	0.616	0.629	0.632	0.644	0.651
0.400	0.602	0.617	0.629	0.631	0.642	0.647
0.500	0.603	0.617	0.628	0.630	0.640	0.645
0.600	0.604	0.617	0.627	0.630	0.638	0.643
0.700	0.604	0.616	0.627	0.629	0.637	0.640
0.800	0.605	0.616	0.627	0.629	0.636	0.637
0.900	0.605	0.615	0.626	0.628	0.634	0.635
1.000	0.605	0.615	0.626	0.628	0.633	0.632
1.100	0.604	0.614	0.625	0.627	0.631	0.629
1.200	0.604	0.614	0.624	0.626	0.628	0.626
1.300	0.603	0.613	0.622	0.624	0.625	0.622
1.400	0.603	0.612	0.621	0.622	0.622	0.618
1.500	0.602	0.611	0.620	0.620	0.619	0.615
1.600	0.602	0.611	0.618	0.618	0.617	0.613
1.700	0.602	0.610	0.617	0.616	0.615	0.612
1.800	0.601	0.609	0.615	0.615	0.614	0.612
1.900	0.601	0.608	0.614	0.613	0.612	0.611
2.000	0.601	0.607	0.613	0.612	0.612	0.611
3.000	0.601	0.603	0.606	0.608	0.610	0.609

Lorsque la hauteur de l'orifice dépasse 0^m,20, on peut prendre pour coefficients de la dépense ceux de la hauteur 0^m,20.

Les coefficients du tableau précédent s'appliquent à un orifice de forme quelconque, sans angle rentrant, pourvu que la plus petite dimension de l'orifice soit la hauteur du tableau ; et ils s'appliquent aux orifices noyés comme à ceux qui débouchent à l'air libre.

97. *Contraction incomplète.* Suivant que la contraction est supprimée sur 1, 2, ou 3 côtés, c'est-à-dire suivant qu'un, deux ou trois côtés de l'orifice sont prolongement aux parois du vase ; pour avoir les coefficients de la dépense, il suffit de multiplier ceux du tableau (96) par 1,035 dans le premier cas, par 1,072 dans le second, et par 1,125 dans le troisième.

98. *Vanne d'écluse.* Pour une vanne d'écluse dont le seuil est en général très-rapproché du fond du radier d'amont, le coefficient de la dépense est 0,625, que la vanne soit, ou ne soit pas, noyée sur les deux faces.

99. *Orifices voisins.* Pour deux vannes très-rapprochées, comme celles des portes busquées d'une écluse à sas, on prenait pour coefficient de la dépense 0,55 ; mais des expériences faites par M. Castel ont démontré que le voisinage de deux ou de trois orifices ne change pas le coefficient de la dépense ; il conviendra donc, comme dans le cas précédent, de le faire égal à 0,625.

100. *Vannes inclinées.* Pour des vannes inclinées, comme celles des roues à la Poncelet, dont la face inférieure et les deux faces latérales sont dans le prolongement des parois du réservoir, on a $K = 0,74$ pour une inclinaison de 1 de base sur 2 de hauteur, et $K = 0,80$ pour une inclinaison de 1 de base sur 1 de hauteur. La section S de la vanne (94) se prend égale au produit de la largeur par la hauteur de l'ouverture, cette hauteur étant mesurée verticalement et non suivant l'inclinaison de la vanne.

101. *Orifices en déversoir.* Pour les orifices en déversoir la dépense effective est donnée par la formule

$$Q = KLI\sqrt{2gH}.$$

- Q volume d'eau écoulé par seconde ;
 K coefficient de la dépense ; d'après MM. Poncelet et Lesbros, dans les cas ordinaires d'application, $K = 0,405$;
 L largeur du déversoir ;

H hauteur du niveau de l'eau au-dessus du seuil du déversoir ; cette hauteur se mesure en un point où le dénivèlement ne se fait plus sentir, c'est-à-dire, à 1 ou 2 mètres en amont du déversoir.

TABLEAU des valeurs de K pour différentes valeurs de H, d'après MM. Poncelet et Lesbros.

Valeurs de H.	^m 0.01	^m 0.02	^m 0.03	^m 0.04	^m 0.06	^m 0.08	^m 0.10	^m 0.15	^m 0.20	^m 0.22
Valeurs de K.	0.424	0.417	0.412	0.407	0.401	0.397	0.395	0.393	0.390	0.385

Le coefficient d'application 0,405 devient 0,42 environ quand le déversoir a la même largeur que le canal d'arrivée, et que la profondeur de celui-ci diffère peu de la charge sur le seuil du déversoir. H étant la hauteur du niveau de l'eau dans le réservoir, au-dessus du seuil du déversoir, et h, l'épaisseur de la lame d'eau, mesurée sur l'arête intérieure du seuil même du déversoir, on a $H = 1,178 h$ quand la largeur du déversoir est les $\frac{4}{5}$ de celle du réservoir ; et $H = 1,25 h$ quand ces deux largeurs sont égales.

102. *Orifices circulaires garnis d'ajutages cylindres de même diamètre.* Dans ce cas, il résulte des expériences faites par Eytelwein avec une série de tubes de 0,026 de diamètre, que le coefficient de la dépense varie avec le rapport de la longueur de l'ajutage à son diamètre, et qu'il est pour un rapport de

1 et au-dessous	0,62
2 à 3	0,82
12	0,77
24	0,73
36	0,68
43	0,63
60	0,60

103. *Orifices circulaires garnis d'ajutages coniques convergents,* c'est-à-dire, d'ajutages dont le diamètre va en diminuant à partir de la paroi du vase. Dans ce cas on prend pour section de l'orifice celle de l'extrémité de l'ajutage, et pour charge génératrice, la charge sur le centre de cette extrémité. M. Castel en opérant sur des ajutages dont la longueur était égale à 2,6 fois le diamètre à l'extrémité, a trouvé pour coefficient de la dépense (95), et pour coefficient de la

vitesse (89 et 91), les résultats du tableau suivant, qui varient, comme on le voit, avec l'angle de convergence que font entre elles les génératrices de l'ajutage.

ANGLE de convergence.	COEFFICIENTS de la		ANGLE de convergence.	COEFFICIENTS de la	
	dépense.	vitesse.		dépense.	vitesse.
0° 0'	0.829	0.830	13° 24'	0.946	0.962
1 36	0.866	0.866	14 28	0.941	0.966
3 10	0.895	0.894	16 36	0.938	0.971
4 10	0.912	0.910	19 28	0.924	0.970
5 26	0.924	0.920	21 0	0.918	0.971
7 52	0.929	0.931	23 0	0.913	0.974
8 58	0.934	0.942	29 58	0.896	0.975
10 20	0.938	0.950	40 20	0.869	0.980
12 4	0.942	0.955	48 50	0.847	0.984

Les résultats de ce tableau ont été obtenus avec une série d'ajutages dont le diamètre à l'extrémité était 0^m,0155. Une autre série dont le diamètre était 0^m,020 a donné des résultats de si peu supérieurs à ces premiers que l'on peut supposer que la différence provient d'une légère erreur dans l'évaluation des diamètres.

Ces expériences qui ont été faites sous des charges qui ont varié de 0^m,215 à 3^m,030, prouvent que les coefficients de la dépense et de la vitesse sont indépendants de la charge.

104. *Ajutages coniques divergents.* Le tableau suivant donne les résultats obtenus par Venturi, en opérant sous une charge constante de 0^m,88. Les tubes portaient à leur extrémité adaptée au vase une embouchure convergente à peu près de la forme de la veine contractée. Cette embouchure avait 0^m,0406 de diamètre près du vase, et 0,0338 au point d'où ses génératrices commençaient à diverger.

LONGUEUR des ajutages.	ANGLE de divergence.	COEFFICIENT de la dépense.	LONGUEUR des ajutages.	ANGLE de divergence.	COEFFICIENT de la dépense.
m. 0.111	3° 30'	0.93	m. 0.059	5° 44'	0.82
0.334	4 38	1.21	0.264	10 16	0.91
0.460	4 38	1.21	0.045	10 16	0.91
0.460	4 38	1.34	0.045	14 14	0.61
0.176	5 44	1.02			

Venturi conclut de ses expériences que la dépense est maximum quand la longueur de l'ajutage est égale à 9 fois le diamètre de la plus petite base, et que l'angle de divergence que font entre elles les génératrices est de 5° 6'. Avec ces proportions, dit l'auteur, la dépense est égale à 2,4 fois la dépense du même orifice en mince paroi, ou à 1,46 fois la dépense théorique.

105. *Orifices accompagnés d'un coursier.* Bossut et plus tard MM. Poncelet et Lesbros, ont constaté que la présence d'un coursier plus ou moins incliné, n'a pas une influence sensible sur la dépense d'une vanne, si la hauteur génératrice n'est pas au-dessous de

0 ^m ,50 à 0 ^m ,60	pour des orifices de	0 ^m ,15 à 0 ^m ,20	de hauteur,
0 ^m ,30 à 0 ^m ,40	id.	0 ^m ,10	id.,
0 ^m ,20	id.	0 ^m ,05 et au-dessous	id.

Pour des charges inférieures, le coursier a une légère influence sur la dépense, et dans ces cas, qui ne se présentent presque jamais en pratique, on peut considérer les valeurs du tableau suivant, comme des coefficients moyens pour les dispositions ordinaires des coursiers.

HAUTEUR de l'orifice.	CHARGE sur le centre de l'orifice.	COEFFICIENT moyen.	HAUTEUR de l'orifice.	CHARGE sur le centre de l'orifice.	COEFFICIENT moyen.
m. 0.20	m. 0.40	0.588	m. 0.05	m. 0.20	0.625
id.	0.24	0.563	id.	0.11	0.605
id.	0.12	0.484	id.	0.05	0.488
0.10	0.16	0.591	id.	0.04	0.439
id.	0.11	0.563	0.03	0.20	0.638
id.	0.09	0.517	id.	0.06	0.601
id.	0.06	0.462			

On pourra calculer la vitesse moyenne de l'eau dans le coursier, à une distance de l'orifice égale à 1,5, ou 2 fois la plus petite dimension de cet orifice, à l'aide de la formule suivante, donnée par M. Navier, pour le cas des orifices garnis d'ajutages prismatiques,

$$U = \sqrt{\frac{2gH}{1 + \left(\frac{1}{K} - 1\right)^2}}$$

U vitesse moyenne cherchée;

H hauteur du niveau de l'eau au-dessus du centre de gravité de l'orifice;

K coefficient de la dépense applicable à l'orifice.

Supposant $K = 0,62$, la formule donne $U = 0,855 \sqrt{2gH}$, au lieu de $0,82 \sqrt{2gH}$ que donne l'expérience pour les ajutages cylindriques (91).

En négligeant le frottement de l'eau contre les parois du coursier, on a

$$u = \sqrt{2g(h + h')}.$$

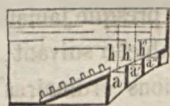
u vitesse moyenne à l'extrémité du coursier;

$h = \frac{U^2}{2g}$ hauteur due à la vitesse à l'origine du coursier;

h' pente totale du coursier.

106. *Orifices garnis d'ajutages-directeurs* (fig. 10). Dans les roues à

Fig. 10.



augets qui prennent l'eau en dessous du sommet, il arrive souvent que l'orifice de la vanne est garni d'un certain nombre d'ajutages qui dirigent l'eau dans les augets. Dans ce cas, on prend, dans le calcul de la dépense, pour largeur de la vanne, celle des ajutages; pour levée de la vanne, la somme des plus petites distances $a a' a'' \dots$ des diaphragmes qui forment les ajutages découverts; et pour hauteur génératrice, la moyenne arithmétique des hauteurs $h h' h'' \dots$ du niveau de l'eau au-dessus du centre de gravité des plus petites distances $a a' a'' \dots$; et enfin pour coefficient de la dépense, 0,75.

107. Lorsqu'une vanne est accompagnée d'une buse pyramidale appelée *bec-de cane*, comme cela a encore lieu pour distribuer l'eau sur la roue dans quelques anciennes usines; on prend pour ouverture de la vanne, la section de l'extrémité du bec-de-cane, pour charge génératrice, la charge sur le centre de l'extré-

mité du bec, et pour coefficient de la dépense 0,98; cette valeur est tirée des résultats de trois expériences de M. Lespinasse, sur une buse de 2^m,923 de longueur, ayant 0^m,731 sur 0^m,975 à la grande base, et 0^m,135 sur 0^m,190 à la petite. D'après des expériences de MM. Piobert et Tardy, il convient de faire ce coefficient égal à 0,864 quand les busesont garniesintérieurement de cadres en bois ou en fer.

108. *Orifices en déversoir garnis d'un coursier peu incliné*. Dans ce cas, les charges étant mesurées, comme au n° (101), en un point ou le dénivèlement ne se fait plus sentir, on peut prendre pour coefficient de la dépense, les valeurs suivantes :

Charges sur le seuil du déversoir 0^m,20 0^m,15 0^m,10 0^m,06 0^m,04 0^m,03.
Valeurs du coefficient de la dépense 0,32 0,31 0,30 0,28 0,26 0,23.

109. *Écoulement de l'eau, lorsque le niveau est variable sur une face ou sur les deux faces de l'orifice d'écoulement, et que le vase qui se vide ainsi que celui qui se remplit, ont des sections horizontales constantes en tous les points de leurs profondeurs*.

Ce qui va suivre s'applique principalement aux écluses des canaux de navigation.

Nous avons vu (95) que la dépense en une seconde par un orifice, est, lorsque le niveau reste constant,

$$Q = KSV = KS\sqrt{2gH}.$$

Le temps nécessaire pour que la dépense soit égale à la capacité de la partie de bassin située au-dessus de l'orifice, est alors, pour un bassin prismatique,

$$t = \frac{AH}{Q} = \frac{AH}{KS\sqrt{2gH}} \quad (a)$$

Q dépense par seconde;

K coefficient de la dépense;

S section de l'orifice d'écoulement;

t durée de l'écoulement, en secondes;

A section horizontale du bassin;

H hauteur du niveau de l'eau au-dessus de l'orifice d'écoulement;

AH capacité de la partie de bassin située au-dessus de l'orifice d'écoulement, ou dépense pour le temps t.

Lorsque le vase se vide sans qu'il reçoive de liquide, la durée t' de la vidange de la partie supérieure à l'orifice, est double de ce qu'elle est, pour la même dépense, lorsque le niveau de l'eau reste constant; ainsi pour le cas de la formule (a), on a

$$t' = 2t = \frac{2AH}{KS\sqrt{2gH}} = \frac{2A}{KS\sqrt{2g}} \sqrt{H}. \quad (b)$$

Le temps que met le niveau pour descendre d'une quantité $H-h$ est

$$T = \frac{2A}{KS\sqrt{2g}} (\sqrt{H} - \sqrt{h}). \quad (c)$$

T durée de l'écoulement ;
H charge sur l'orifice au commencement du temps T ;
h charge sur l'orifice après le temps T.

Si on suppose dans la formule précédente $h=0$, c'est-à-dire, que le niveau baisse de toute la hauteur H, on obtient, comme cela doit avoir lieu, l'expression (b) ; ainsi on a

$$T = \frac{2A}{KS\sqrt{2g}} \sqrt{H} = t'.$$

De la formule (c), on tire pour le temps d'écoulement T, l'abaissement de niveau

$$H-h = \frac{TKS\sqrt{2g}}{A} \left(\sqrt{H} - \frac{TKS\sqrt{2g}}{4A} \right). \quad (d)$$

La dépense Q', pour le temps T, est donc

$$Q' = (H-h)A = TKS\sqrt{2g} \left(\sqrt{H} - \frac{TKS\sqrt{2g}}{4A} \right). \quad (e)$$

Lorsque l'orifice d'écoulement est noyé sur les deux faces, les niveaux restant constants, la dépense est la même que pour l'écoulement à l'air libre, sous une charge égale à la différence $H-h$ des charges sur les deux faces de l'orifice ; ainsi on a, en représentant par Q la dépense par seconde,

$$Q = KS\sqrt{2g(H-h)}. \quad (92 \text{ et suivants.})$$

Supposant que le niveau reste constant dans le bassin supérieur, et que le bassin inférieur ne perde pas d'eau, le temps qu'il faudra pour que le niveau s'établisse dans les deux bassins, sera égal au temps (b) nécessaire pour la vidange à l'air libre du bassin qui se remplit, placé dans les mêmes circonstances de charges ; ainsi on aura

$$t = \frac{2A}{KS\sqrt{2g}} \sqrt{H}.$$

t temps nécessaire à l'établissement de niveau ;
A section horizontale du bassin qui se remplit ;
H différence de niveau du liquide dans les deux bassins, au commencement du temps t.

Le temps nécessaire pour que le niveau s'élève d'une quantité $H-h$, est aussi égal au temps (c) nécessaire pour un abaissement de niveau égal à cette élévation, si le bassin se vidait dans les mêmes circonstances de charges ; ainsi on a

$$T = \frac{2A}{KS\sqrt{2g}} (\sqrt{H} - \sqrt{h}).$$

T temps que met le niveau à s'élever de la quantité $H-h$;
H différence de niveau du liquide dans les deux vases au commencement du temps T ;
h différence de niveau du liquide dans les deux vases à la fin du temps T.

La valeur de $H-h$ est encore égale à celle donnée par la formule (d), et la dépense égale à celle donnée par la formule (e).

Si on suppose que l'orifice d'écoulement étant noyé sur les deux faces, le niveau soit variable dans les deux bassins, c'est-à-dire, que l'un des bassins se vide pour remplir l'autre, comme cela a lieu pour deux sas contigus dans un canal de navigation ; le temps nécessaire pour que le niveau s'établisse dans les deux bassins, est

$$T = \frac{2AB\sqrt{H-h}}{KS\sqrt{2g}(A+B)}.$$

T durée de l'établissement de niveau ;
 $H-h$ différence de niveau du liquide dans les deux bassins quand on ouvre la vanne ;
A et B sections horizontales des deux bassins.

Cette formule fait voir que pour une même valeur de $H-h$ T est le même, que A soit la section du bassin qui se vide et B celle de celui qui se remplit, ou que B soit la section du premier et A celle du second.

Il peut encore arriver que l'orifice d'écoulement ne soit noyé sur les deux faces que pendant une partie du temps de remplissage ; alors, pour avoir ce temps, on le divise en deux parties, l'une cor-

respondant au remplissage de la portion de bassin inférieure à l'orifice d'écoulement, et que l'on calcule facilement, d'après ce qui vient d'être dit, soit que le bassin supérieur se vide ou conserve un niveau constant; l'autre correspondant au remplissage de la portion de bassin supérieure à l'orifice d'écoulement, et que l'on calcule encore facilement, soit que le bassin supérieur se vide ou conserve un niveau constant.

COURS D'EAU.

110. *Cours d'eau à section constante et à pente uniforme.* Lorsque le régime des eaux est établi, c'est-à-dire lorsque le mouvement de l'eau est uniforme, on a

$$Q = Sv, \text{ d'où on tire } v = \frac{Q}{S}.$$

- Q dépense ou volume d'eau écoulé par seconde;
S section du cours d'eau;
v vitesse moyenne d'écoulement de l'eau.

On a aussi, d'après M. de Prony,

$$I = \frac{P}{S} (av + bv^2). \quad (a)$$

pente par mètre; elle est égale à la différence de niveau de deux points de la surface de l'eau, divisée par la distance de ces deux points, mesurée suivant l'axe du cours d'eau;

- S section transversale du cours d'eau;
v vitesse moyenne du cours d'eau;
P périmètre mouillé, ou contour de la section S, diminué de la largeur du canal à la surface de l'eau;
 $a = 0,0000444$ coefficient numérique constant;
 $b = 0,000309$ *id.*

M. de Prony, qui a le premier donné la formule précédente, a déterminé les valeurs de a et b , en discutant les résultats de trente et une expériences faites par Dubuat, sur des canaux factices et des rivières, dont les sections ont varié de $0^m,011$ à $29^m,00$, et la vitesse moyenne, de $0^m,12$ à $0^m,88$.

Eytelwein, en suivant la même marche que M. de Prony, mais en ajoutant aux résultats de Dubuat, ceux obtenus depuis par MM. Brünings, Woltmann et Funck, pour des canaux et des

rivières dont la section fluide a varié de $0^m,014$ à $260\frac{1}{4}^m,00$, et la vitesse de $0^m,12\frac{1}{4}$ à $2^m,42$, a conclu de quatre-vingt-onze résultats, que l'on devait faire dans la formule de M. de Prony, $a = 0,000024$ et $b = 0,000365$.

La formule de M. de Prony, modifiée par les nouvelles valeurs de a et b d'Eytelwein, s'applique mieux au cas des grandes rivières; mais elle ne s'applique pas également bien aux quatre-vingt-onze expériences discutées par ce dernier; ainsi, pour vingt d'entre elles, les vitesses données par la formule s'écartent de $0,11$ à $0,29$ des vitesses observées. Les résultats de Dubuat, notamment, sont beaucoup mieux représentés par la formule de M. de Prony.

On appelle *rayon moyen*, le quotient de la section transversale S d'un cours d'eau, par le périmètre mouillé P ; ainsi en le représentant par R , on a

$$R = \frac{S}{P};$$

et la formule de M. de Prony donne, en remplaçant a et b par leurs valeurs

$$RI = 0,0000444v + 0,000309v^2,$$

d'où on tire

$$v = \sqrt{0,005163 + 3233,428RI} - 0,07185,$$

ou à peu près

$$v = 56,86\sqrt{RI} - 0,072.$$

De ces formules on tirera la valeur de v , connaissant I et R , ou quelle devra être la pente I pour obtenir une vitesse $v = \frac{Q}{S}$. La va-

leur de R dépend de celle de la section S et de la forme de cette section, forme généralement déterminée par des exigences de localités; si le canal est en bois ou en maçonnerie, on peut faire les parois verticales, et il convient que la largeur soit égale au double de la profondeur d'eau, afin de rendre le périmètre mouillé et par suite la résistance des parois le plus petits possible. Pour les canaux en terre, les parois sont en talus et la largeur varie de quatre à six fois la profondeur d'eau.

111. *Relations entre la vitesse moyenne, la vitesse maxima à la*

surface et la vitesse au fond d'un cours d'eau. Des expériences de Dubuat (110), M. de Prony a conclu la formule

$$\frac{v}{V} = \frac{V + 2,37}{V + 3,15}$$

v vitesse moyenne (110);
 V vitesse à la surface, prise au point où se trouve le fil de l'eau, c'est-à-dire, au point où elle est la plus grande; cette vitesse maxima correspond généralement à la plus grande profondeur de l'eau.

De cette formule on conclut que pour les valeurs de V :

$0^m,10$, $0^m,50$, $1^m,00$, $1^m,50$, $2^m,00$, $2^m,50$, $3^m,00$, $3^m,50$, $4^m,00$,

on a respectivement $\frac{v}{V} =$

$0,760$, $0,786$, $0,812$, $0,832$, $0,848$, $0,862$, $0,873$, $0,883$, $0,891$.

En pratique, pour des vitesses à la surface comprises entre $0^m,20$ et $1^m,50$, on peut supposer $v = \frac{4}{5}V = 0,8V$, ou $V = 1,25v$.

La formule précédente donne pour v des valeurs trop considérables, lorsqu'il s'agit de grands cours d'eau; ainsi des expériences directes, faites sur la Seine, ont donné $v = 0,62V$, et d'autres, faites par M. Raucourt, sur la Newa, ont donné $v = 0,75V$.

Des ingénieurs allemands ont trouvé que le rapport entre la vitesse moyenne de tous les filets rencontrés par une même verticale, à la vitesse à la partie supérieure de la verticale, variait de $0,88$ à $0,92$; des expériences faites sur le Rhin, par M. Defontaine, ont donné moyennement $0,88$ pour ce rapport.

Dubuat a conclu de ses expériences (110), que l'on avait, en représentant par U la vitesse au fond d'un canal,

$$U = 2v - V.$$

d'où l'on conclut en faisant $V = 1,25v$

$$U = 0,75v, \text{ ou } v = 1,33U.$$

Pour l'établissement d'un canal, on se donnera la vitesse U , telle que les parois ne soient pas dégradées, on en conclura la vitesse moyenne v , qu'il ne faudra pas dépasser, et à l'aide de la formule

de M. de Prony (110), on déterminera les quantités qui sont encore inconnues.

TABLEAU des valeurs maximum de U pour différentes natures de sols.

	m.
Terres détrempées, brunes.	0,076
Argiles tendres.	0,152
Sables.	0,305
Graviers.	0,609
Cailloux.	0,614
Pierres cassées, silex.	1,220
Cailloux agglomérés ou poudings, schistes tendres.	1,520
Roches en couches.	1,830
Roches dures.	3,050

112. Jaugeage des rivières. La formule de M. de Prony

$$v = \sqrt{0,005163 + 3233,428RI} - 0,07185,$$

ou simplement

$$v = 56,86\sqrt{RI} - 0,072, \quad (110)$$

peut servir à jauger, non-seulement un cours d'eau à section constante et à pente uniforme sur toute sa longueur; mais aussi à jauger un cours d'eau quelconque, pourvu que l'on puisse trouver sur son parcours une certaine longueur, 400 mètres si c'est possible, dont la section soit constante et la pente uniforme; un profil en travers donne la section transversale du cours d'eau et le périmètre mouillé, et divisant la section par le périmètre on a le rayon moyen R ; un nivellement donne la pente totale de la partie régulière du cours d'eau, et cette pente divisée par la longueur du développement de l'axe de cette partie régulière, donne la pente I par mètre; substituant R et I dans la formule précédente, on en conclut la vitesse v , laquelle, multipliée par la section transversale donnée par le profil, donne la dépense. Si la section du cours d'eau n'est pas tout à fait constante, ce qui arrive souvent pour les cours d'eau naturels; sur la longueur à peu près régulière considérée, on fait un certain nombre de profils en travers du cours d'eau, ce qui donne le même nombre de sections dont on prend une moyenne; on prend également une moyenne des périmètres mouillés, aussi donnés par les profils; et divisant la section moyenne par le périmètre moyen, on a le rayon moyen R ;

on détermine ensuite la pente I , puis la vitesse moyenne v et la dépense comme dans le cas précédent.

Si le profil en travers d'un cours d'eau présentait une grande profondeur sur une certaine étendue, et s'étendait loin avec une très-faible profondeur; pour appliquer la formule de M. de Prony, il conviendrait de considérer le cours d'eau comme formé de deux, l'un correspondant à la partie profonde, et l'autre à la partie de faible profondeur; par là, chaque profil partiel serait convexe, et on rentrerait dans les cas qui ont servi à l'établissement de la formule de M. de Prony.

On peut encore jauger une rivière en déterminant directement la vitesse maxima à la surface. On jette dans le fil de l'eau un flotteur cylindrique en bois de chêne, qui s'immerge presque complètement; on compte, à l'aide d'une montre à secondes, le temps que met le flotteur pour parcourir une certaine distance, que l'on a encore eu soin de prendre la plus grande possible, et au point où le cours d'eau est le plus régulier; et divisant l'espace par le temps, on a la vitesse. On a soin de répéter une dizaine de fois l'expérience, et en prenant la moyenne des vitesses trouvées pour toutes les expériences, on obtient une vitesse que l'on peut considérer comme étant la vitesse à la surface, laquelle multipliée par 0,8 donne la vitesse moyenne. On détermine ensuite la section du cours d'eau par un simple profil, si la partie parcourue par le flotteur a partout la même section, ou par un certain nombre, comme il a déjà été indiqué dans ce numéro, si la section n'est pas tout à fait constante; et la vitesse moyenne multipliée par la section, donne la dépense. On a soin de jeter le flotteur dans le courant, un peu au-dessus du point duquel on commence à compter le temps, afin que quand il arrive à ce point, il possède déjà la vitesse du courant. Au lieu d'un seul flotteur, on peut en jeter plusieurs à la fois dans le courant; mais il convient encore, malgré cela, de répéter un certain nombre de fois l'expérience.

TUYAUX DE CONDUITE DES EAUX.

113. Outre la formule relative à l'établissement des canaux à ciel découvert,

$$RI = av + bv^2 = 0.000044v + 0.000309v^2, \quad (110)$$

M. de Prony a encore donné une formule analogue pour le cas d'une conduite cylindrique régulière dans laquelle le régime des eaux est établi; cette formule est

$$\frac{DJ}{4} = av + bv^2 = 0.0000173v + 0.000348v^2,$$

de laquelle on conclut

$$v = \sqrt{0.0062 + 2871.44 \frac{DJ}{4}} - 0.025,$$

ou à peu près

$$v = 53.58 \sqrt{\frac{DJ}{4}} - 0.025.$$

- v vitesse moyenne de régime;
- D diamètre intérieur de la conduite;
- J pente par mètre, ou longueur totale de la conduite divisée par la différence de niveau de ses deux extrémités.
- a coefficient égal à 0,0000173 d'après M. de Prony, et à 0,0000222 d'après Eytelwein;
- b coefficient égal à 0,000348 d'après M. de Prony, et à 0,000280 d'après Eytelwein.

Ayant v , on a la dépense

$$Q = Sv = \frac{\pi D^2}{4} v.$$

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \text{ section de la conduite.}$$

114. C'est afin d'abrégier les calculs relatifs à la conduite des eaux, soit à ciel découvert, soit au moyen de tuyaux, que M. de Prony a calculé le tableau suivant, qui satisfait aux cas ordinaires de la pratique. Ce tableau contient en outre les valeurs de RI , données par la formule d'Eytelwein (110).

VITESSES moyennes v.	VALEURS CORRESPONDANTES			VITESSES moyennes v.	VALEURS CORRESPONDANTES		
	de RI dans les canaux.		de $\frac{1}{4}$ DJ dans les tuyaux.		de RI dans les canaux.		de $\frac{1}{4}$ DJ dans les tuyaux.
	EYTELWEIN.	DE PRONY.	DE PRONY.		EYTELWEIN.	DE PRONY.	DE PRONY.
m. 2.41	0.002 181 6	0.001 903 7	0.002 064 5	m. 2.71	0.002 750 4	0.002 392 1	0.002 604 6
2.42	0.002 199 5	0.001 919 0	0.002 081 5	2.72	0.002 770 4	0.002 409 3	0.002 623 7
2.43	0.002 217 5	0.001 934 5	0.002 098 5	2.73	0.002 790 6	0.002 426 6	0.002 642 9
2.44	0.002 235 5	0.001 950 0	0.002 115 7	2.74	0.002 810 8	0.002 444 0	0.002 662 1
2.45	0.002 253 6	0.001 965 6	0.002 132 9	2.75	0.002 831 1	0.002 461 4	0.002 681 4
2.46	0.002 271 8	0.001 981 2	0.002 150 2	2.76	0.002 851 5	0.002 478 9	0.002 700 7
2.47	0.002 290 0	0.001 986 9	0.002 167 5	2.77	0.002 872 0	0.002 496 5	0.002 720 2
2.48	0.002 308 4	0.002 012 6	0.002 184 9	2.78	0.002 892 5	0.002 514 1	0.002 739 7
2.49	0.002 326 8	0.002 028 5	0.002 202 4	2.79	0.002 913 1	0.002 531 8	0.002 759 2
2.50	0.002 345 3	0.002 044 3	0.002 219 9	2.80	0.002 933 8	0.002 549 5	0.002 778 9
2.51	0.002 363 8	0.002 060 3	0.002 237 6	2.81	0.002 954 5	0.002 567 3	0.002 798 6
2.52	0.002 382 4	0.002 076 3	0.002 255 3	2.82	0.002 975 4	0.002 585 1	0.002 818 4
2.53	0.002 401 2	0.002 092 4	0.002 273 0	2.83	0.002 996 3	0.002 603 1	0.002 838 2
2.54	0.002 419 9	0.002 108 5	0.002 290 8	2.84	0.003 017 2	0.002 621 0	0.002 858 1
2.55	0.002 438 8	0.002 124 7	0.002 308 7	2.85	0.003 038 3	0.002 639 1	0.002 878 1
2.56	0.002 457 7	0.002 140 0	0.002 326 7	2.86	0.003 059 4	0.002 657 2	0.002 898 2
2.57	0.002 476 8	0.002 157 2	0.002 344 8	2.87	0.003 080 6	0.002 675 4	0.002 918 3
2.58	0.002 495 8	0.002 173 6	0.002 362 9	2.88	0.003 101 8	0.002 693 6	0.002 938 5
2.59	0.002 514 9	0.002 190 0	0.002 381 0	2.89	0.003 123 2	0.002 711 9	0.002 958 8
2.60	0.002 534 0	0.002 206 5	0.002 399 3	2.90	0.003 144 6	0.002 730 2	0.002 979 1
2.61	0.002 553 4	0.002 223 1	0.002 417 6	2.91	0.003 166 1	0.002 748 7	0.002 999 5
2.62	0.002 572 8	0.002 239 7	0.002 436 0	2.92	0.003 187 6	0.002 767 1	0.003 020 0
2.63	0.002 592 2	0.002 256 4	0.002 454 5	2.93	0.003 209 2	0.002 785 7	0.003 040 5
2.64	0.002 611 8	0.002 273 1	0.002 473 0	2.94	0.003 230 9	0.002 804 3	0.003 061 2
2.65	0.002 631 3	0.002 290 0	0.002 491 6	2.95	0.003 252 7	0.002 822 9	0.003 081 9
2.66	0.002 650 9	0.002 306 8	0.002 510 2	2.96	0.003 274 5	0.002 841 7	0.003 102 6
2.67	0.002 670 7	0.002 323 8	0.002 529 0	2.97	0.003 296 5	0.002 860 5	0.003 123 4
2.68	0.002 690 5	0.002 340 7	0.002 547 8	2.98	0.003 318 5	0.002 879 3	0.003 144 3
2.69	0.002 710 4	0.002 357 8	0.002 566 7	2.99	0.003 340 5	0.002 898 2	0.003 165 3
2.70	0.002 730 3	0.002 374 9	0.002 585 6	3.00	0.003 362 7	0.002 917 2	0.003 186 3

115. L'application suivante va faire comprendre la marche à suivre dans l'établissement des tuyaux de conduite d'eau, en faisant usage de la table précédente; marche qui est analogue pour l'établissement des canaux découverts.

Soit à déterminer le diamètre d'une conduite de 5000 mètres de longueur, capable de débiter 60 mètres cubes d'eau par heure; la charge totale, c'est-à-dire la différence de niveau de l'eau, dans le réservoir alimentaire et dans le réservoir alimenté, étant de 5 mètres.

La dépense par seconde est de $\frac{60000}{3600} = 16,6667$ litres.

La charge J (113) par mètre est de $\frac{5}{5000} = 0^m,001$.

Cela posé, on procède par tâtonnement, en essayant différents diamètres.

Pour une conduite de 0^m,20 de diamètre, dans les circonstances précédentes, on a

$$\frac{1}{4} DJ = \frac{0,20 \times 0,001}{4} = 0,00005. \quad (113)$$

Cherchant dans la table la valeur de $\frac{1}{4} DJ$, qui approche le plus de la valeur 0,00005 sans la surpasser, on trouve 0,0000487 qui correspond à la vitesse moyenne 0^m,35 par seconde.

La section de la conduite de 0^m,20 de diamètre étant de 3,1416 décimètres carrés, le débit par seconde est de

$$3,1416 \times 3,5 = 10,9956 \text{ litres.}$$

Le diamètre 0^m,20 est donc trop faible.

Essayant un diamètre plus grand, 0^m,24 par exemple, on a

$$\frac{1}{4} DJ = \frac{0,24 \times 0,001}{4} = 0,00006.$$

Et la table donne pour la valeur de $\frac{1}{4} DJ$ immédiatement

inférieure à 0,00006, 0,0000597 qui correspond à la vitesse moyenne 0^m,39.

La section du tuyau étant de 4,5239 décimètres carrés, le débit par seconde est de

$$4,5239 \times 3,9 = 17,6432 \text{ litres.}$$

Le diamètre 0^m,24 est donc un peu fort, mais, à cause des dépôts séléniteux ou vaseux qui se forment dans les tuyaux de conduite, et qui en diminuent la section et par suite le débit, il convient d'adopter 0^m,24 pour le diamètre de la conduite; du reste on déterminerait plus exactement le diamètre devant satisfaire au tableau de M. de Prony, en continuant le tâtonnement.

116. C'est afin d'éviter ces tâtonnements que nous avons calculé la table suivante qui donne, pour différents diamètres, les dépenses et les charges par mètre de longueur de conduite, correspondant à différentes vitesses moyennes de l'eau dans chaque conduite. Les diamètres compris dans cette table sont tels, que chacun d'eux diffère assez peu de ceux immédiatement inférieur et supérieur, pour que le débit à produire sous une certaine charge, tombant entre les débits de deux diamètres de la table, sous la même charge, on puisse juger, à la simple inspection, quel serait à peu près le diamètre exact que donnerait la table de M. de Prony, et balancer l'augmentation que l'on juge convenable pour obvier à l'influence des dépôts, sans craindre d'employer un diamètre trop grand, ce qui entraînerait dans des dépenses inutiles.

Lorsqu'on établit une distribution d'eau dans une ville, il convient de ne pas avoir un trop grand nombre de diamètres différents pour les divers branchements de la conduite, afin de diminuer, autant que possible, les frais de modèles; mais il faut avoir soin aussi, de ne pas pécher en sens contraire, c'est-à-dire, de ne pas employer des diamètres trop grands pour les débits à produire; car, bientôt, l'excès de matière contenue dans les tuyaux et l'augmentation du prix des robinets dépasseraient l'économie faite sur les modèles.

Une considération à laquelle il convient d'avoir égard en fixant le débit d'une conduite et par suite son diamètre, est de savoir si

ce débit est susceptible de devoir être augmenté, par suite d'un accroissement de la population, ou de la construction de quelques établissements industriels.

M. Mary, ingénieur en chef des ponts et chaussées, chargé du service des eaux de la ville de Paris, a déjà calculé une table analogue à celle qui va suivre, pour les diamètres employés à la distribution des eaux dans Paris; mais, outre que ces diamètres sont exprimés en pouces, ils diffèrent trop entre eux pour éviter complètement, dans toutes les circonstances, les tâtonnements indiqués n° (115), ou les excès de diamètre que nous venons de signaler. M. Morin a aussi calculé une table semblable à celle de M. Mary, mais dont le nombre de diamètres est encore insuffisant.

La première colonne de notre table est commune à tous les diamètres qui se trouvent sur la page, et elle donne les différentes vitesses moyennes de l'eau dans les conduites; la deuxième donne les dépenses correspondant aux vitesses de la première colonne; ces dépenses ont été obtenues en multipliant la section de chaque tuyau par les vitesses moyennes; et la troisième donne les charges J (113) par mètre de longueur de conduite, nécessaires pour que les débits soient ceux indiqués dans la deuxième colonne; ces charges ont été déduites de la table de M. de Prony (114), en divisant les différentes valeurs de $\frac{1}{4} DJ$, correspondant aux vitesses moyennes de la première colonne de notre table, par $\frac{1}{4} D$.

VITESSES moyennes.	Diamèt. de la conduite 0 ^m .60 Section id. 0 ^{mc} .282744		VITESSES moyennes.	Diamèt. de la conduite 0 ^m .60 Section id. 0 ^{mc} .282744	
	Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.		Dépenses en litres par seconde.	Charges par mètre de longueur de conduite.
m	l.	m.	m.	l.	m.
0.01	2.8274	0.000 001 39	1.00	282.7440	0.002 437 27
0.02	5.6549	0.000 003 24	1.05	296.8812	0.002 681 02
0.03	8.4823	0.000 005 56	1.10	311.0184	0.002 936 39
0.04	11.3098	0.000 008 34	1.15	325.1556	0.003 203 36
0.05	14.1372	0.000 011 58	1.20	339.2928	0.003 481 04
0.06	16.9646	0.000 015 29	1.25	353.4300	0.003 772 13
0.07	19.7921	0.000 019 47	1.30	367.5672	0.004 073 92
0.08	22.6195	0.000 024 10	1.35	381.7044	0.004 387 33
0.09	25.4470	0.000 029 21	1.40	395.8416	0.004 712 34
0.10	28.2744	0.000 034 77	1.45	409.9788	0.005 048 97
0.11	31.1018	0.000 040 80	1.50	424.1160	0.005 397 20
0.12	33.9293	0.000 047 30	1.55	438.2532	0.005 757 04
0.13	36.7567	0.000 054 26	1.60	452.3904	0.006 128 49
0.14	39.5842	0.000 061 68	1.65	466.5276	0.006 511 55
0.15	42.4116	0.000 069 57	1.70	480.6648	0.006 906 21
0.16	45.2390	0.000 077 92	1.75	494.8020	0.007 312 49
0.17	48.0665	0.000 086 74	1.80	508.9392	0.007 730 37
0.18	50.8939	0.000 096 02	1.85	523.0764	0.008 159 86
0.19	53.7214	0.000 105 77	1.90	537.2136	0.008 600 97
0.20	56.5488	0.000 115 98	1.95	551.3508	0.009 053 67
0.22	62.2037	0.000 137 79	2.00	565.4880	0.009 517 99
0.25	70.6860	0.000 173 99	2.05	579.6252	0.009 993 92
0.28	79.1683	0.000 214 38	2.10	593.7624	0.010 481 46
0.30	84.8232	0.000 243 62	2.15	607.8996	0.010 980 60
0.32	90.4781	0.000 274 72	2.20	622.0368	0.011 491 35
0.35	98.9604	0.000 324 85	2.25	636.1740	0.012 013 71
0.38	107.4427	0.000 379 16	2.30	650.3112	0.012 547 68
0.40	113.0976	0.000 417 69	2.35	664.4484	0.013 093 26
0.42	118.7525	0.000 458 08	2.40	678.5856	0.013 650 45
0.45	127.2348	0.000 522 14	2.45	692.7228	0.014 219 24
0.48	135.7171	0.000 590 39	2.50	706.8600	0.014 799 65
0.50	141.3720	0.000 638 20	2.55	720.9972	0.015 391 66
0.55	155.5092	0.000 765 87	2.60	735.1344	0.015 995 28
0.60	169.6464	0.000 905 15	2.65	749.2716	0.016 610 51
0.65	183.7836	0.001 056 03	2.70	763.4088	0.017 237 35
0.70	197.9208	0.001 218 53	2.75	777.5460	0.017 875 80
0.75	212.0580	0.001 392 63	2.80	791.6832	0.018 525 86
0.80	226.1952	0.001 578 34	2.85	805.8204	0.019 187 52
0.85	240.3324	0.001 775 66	2.90	819.9576	0.019 860 80
0.90	254.4696	0.001 984 59	2.95	834.0948	0.020 545 68
0.95	268.6068	0.002 205 12	3.00	848.2320	0.021 242 17

La table précédente va nous servir à résoudre quelques problèmes dont la solution serait assez longue avec le secours seul de la table de M. de Prony (114).

118. 1^{er} Problème. Soit (problème déjà résolu n° 115) à déterminer le diamètre d'une conduite de 5000 mètres de longueur, capable de débiter 60 mètres cubes d'eau par heure ou 16,6667 litres par seconde, la charge totale étant de 5 mètres, ce qui fait 0^m,001 par mètre de longueur de conduite.

On cherche, en considérant successivement les différents diamètres de la table, quel est le plus petit de ces diamètres capable de dépenser le volume 16^l,6667 par seconde, ou le volume immédiatement supérieur, sans que la charge correspondante dépasse 0^m,001, et ce plus petit diamètre est celui qu'il convient d'employer.

Considérant le diamètre 0^m,20, on voit que la dépense 17^l,2788, immédiatement supérieure à 16^l,6667, correspond à une charge de 0^m,00229761 par mètre de longueur de conduite; le diamètre 0^m,20 est donc trop faible.

Considérant le diamètre 0^m,22, la dépense 17^l,1060 correspond à la charge 0^m,00142403; ce diamètre n'est donc pas encore assez grand.

Pour le diamètre 0^m,24, la dépense 17^l,1908 correspond à la charge 0^m,00094791; ce diamètre est donc plus que suffisant pour produire la dépense 16^l,6667 sous une charge de 0^m,001; mais l'excès de dépense qu'il pourra produire compensera les dépôts dont il a déjà été question (115). Puisque le diamètre 0^m,24 satisfait aux conditions du problème, à plus forte raison les diamètres supérieurs devront-ils y satisfaire.

119. 2^e Problème. Ce problème et ceux qui suivront ne sont autre chose que la réunion de plusieurs, analogues au précédent (118); et se résoudront en suivant la même marche que pour ce premier.

Il s'agit, au moyen d'une machine à vapeur, d'élever, par heure, 60 mètres cubes d'eau à 25^m,00 de hauteur au-dessus du niveau du puisard des pompes; la longueur totale de la conduite, qui a un diamètre constant sur toute sa longueur, est de 1000 mètres. On demande quel diamètre on devra donner à la conduite, sachant qu'elle n'alimente aucun branchement sur son parcours.

Si on n'avait à considérer que les frais d'établissement de la conduite, il est évident que l'on devrait adopter le plus petit diamètre capable de débiter 60 mètres cubes par heure, ou 16^l,6667 par seconde, sans que la vitesse moyenne dépassât 3^m,00 par seconde; mais comme la charge à vaincre et, par suite, la force de la machine augmentent à mesure que le diamètre de la conduite diminue, il faut, pour résoudre le plus convenablement possible le problème en question, dresser un tableau des prix d'établissement des différentes conduites et des machines qui leur sont nécessaires, et faire entrer dans la comparaison de ces prix, les intérêts des sommes dépensées; ainsi que les dépenses annuelles de charbon et d'entretien; il faut avoir égard aussi au renouvellement du matériel.

Il faut donc se rendre compte de la force des machines, pour les différents diamètres susceptibles d'être employés. Le plus petit des diamètres que l'on peut employer est 0^m,09, lequel, pour une dépense de 16^l,8586, exige une charge de 0^m,11073676 par mètre de longueur de conduite; la charge, à très-peu près exacte, pour le volume 16^l,6667 que doit dépenser la conduite, s'obtient par une simple proportion: on remarque que pour la différence 0^l,3181, des deux dépenses successives 16^l,8586 et 16^l,5405 de la table, la différence de charge par mètre de longueur de conduite est 0^m,11073676 — 0^m,10663522 = 0^m,00410154, ou à peu près 0^m,0941; alors, pour la différence 16^l,8586 — 16^l,6667 = 0^l,1919, on conclura la différence de charge x , de la proportion

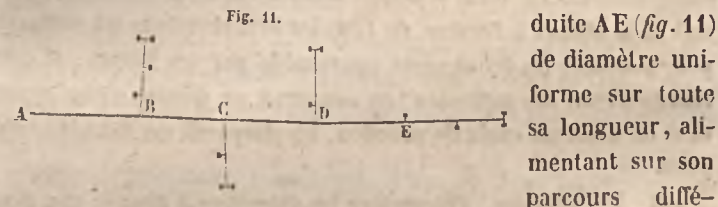
$$0,3181 : 0,1919 :: 0,0041 : x,$$

ce qui donne $x = 0^m,0025$; d'où il résulte que la charge correspondant à la dépense 16^l,6667 est 0^m,11073676 — 0^m,002473 = 0^m,10826 environ; pour les 1000 mètres de longueur de conduite la charge sera donc de 108^m,26, auxquels il faut encore ajouter les 25 mètres d'élévation de l'eau, ce qui donne une charge totale définitive de 133^m,26. L'effet utile de la machine, non compris le frottement des pompes, sera donc de 133,26 × 60000 = 7995600 kilogrammètres par heure, ce qui correspond à une force de $\frac{7995600}{270000} = 29,61$ chevaux (19).

En opérant de la même manière pour les diamètres successifs 0^m,12, 0^m,15, 0^m,20, 0^m,25, on obtient les résultats du tableau suivant.

DIAMÈTRE de la conduite.	CHARGE TOTALE due au mouvement de l'eau et à son élévation.	EFFET utile de la machine en kilog. m., par heure.	FORCE de la machine en chevaux.
0.09	108.26 + 25 = 133.26	7 995 600	29.61
0.12	26.07 + 25 = 51.07	3 063 960	11.35
0.15	8.70 + 25 = 33.70	2 022 000	7.49
0.20	2.15 + 25 = 27.15	1 629 000	6.03
0.25	0.74 + 25 = 25.74	1 544 400	5.72

120. 3^e problème. Distribution d'eau au moyen d'une conduite AE (fig. 11)



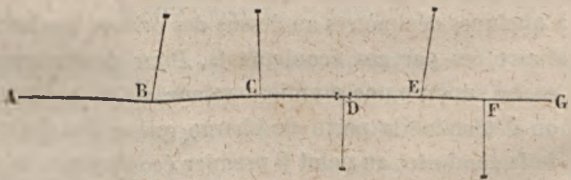
de diamètre uniforme sur toute sa longueur, alimentant sur son parcours différents écoulements B, C, D et E de débits déterminés: chacun de ces écoulements alimente, par exemple, un certain nombre de bornes fontaines.

Il faut que le diamètre de la conduite soit tel que la charge, à l'origine de chaque écoulement, soit suffisante pour élever l'eau au moins à quelques décimètres au-dessus des orifices des bornes fontaines alimentées par ces écoulements. Pour déterminer ce diamètre, on lui suppose une première valeur qu'on préjuge convenable; on détermine la perte de charge qui a lieu du point A, origine de la conduite, au point B premier écoulement, ce que l'on fait en opérant comme au problème premier (118); car ayant le débit de cette partie AB, débit qui est égal à celui de toute la conduite, et son diamètre, la table (117) donne la perte de charge par mètre, laquelle, multipliée par la distance des points A et B qui est connue, donne la perte totale de charge pour la partie de conduite comprise entre ces deux points. Retranchant cette perte de la charge

théorique au point B, c'est-à-dire de la différence de hauteur du point B, et du niveau de l'eau dans le réservoir alimentaire placé au point A, on a la charge réelle au point B; charge qui doit être capable d'élever l'eau aux bornes fontaines alimentées par l'écoulement B. On détermine ensuite la perte de charge qui a lieu du point B au point C; pour cela, on opère comme de A en B, en remarquant seulement que le volume débité par cette portion de conduite est égal à celui débité par la portion AB, moins le volume qui s'écoule par le branchement B; ayant la perte de charge qui a lieu de B en C, on l'ajoute à celle trouvée pour la partie AB, ce qui donne la perte totale de A en C, laquelle, retranchée de la charge théorique en C, donne la charge réelle en ce point; charge qui doit aussi être suffisante pour produire l'écoulement par les bornes alimentées par le branchement C. On opère ensuite sur les parties successives CD, EF de la conduite comme sur les précédentes, et on voit si la charge à l'orifice de tous les branchements est suffisante pour produire un écoulement convenable par les bornes; si cette charge n'était pas suffisante, on essayerait un diamètre plus grand, et si on avait un excès de pression, on essayerait un diamètre plus petit.

121. 4^e Problème. Déterminer les diamètres à donner aux deux portions d'une conduite recevant l'eau par ses deux extrémités A et G (fig. 12), et alimentant sur son parcours différents écoulements B, C, D, E, F de débits déterminés.

Fig. 12.



Dans ce cas, des écoulements sont alimentés par l'eau venant de A, et les autres par l'eau venant de G; et généralement un des écoulements reçoit une partie de son eau de l'extrémité A, et l'autre partie de l'extrémité G: ainsi, par exemple, la quantité d'eau fournie par l'extrémité A est égale à la dépense des

écoulements B, C, $\frac{1}{4}$ D, et celle fournie par l'extrémité G, égale à la dépense des écoulements F, E, $\frac{3}{4}$ D.

Le diamètre de chacune des parties AD et DG de la conduite doit être tel que la charge à l'entrée de chaque embranchement soit suffisante pour le débit de ce branchement; et, de plus, que la charge soit la même à l'entrée du branchement D pour chacune des portions de la conduite. On est donc obligé de procéder par tâtonnement pour arriver à la solution du problème; et pour cela, on assigne une première valeur à chacun des diamètres de AD et DG; on détermine, en opérant comme dans le cas précédent (120), quelle est la charge à l'entrée de l'écoulement D; si cette charge est la même pour les deux écoulements en sens contraire, et que la distribution se fasse convenablement par tous les branchements alimentés par chaque portion de la conduite principale, on adopte les diamètres supposés; si, au contraire, ces conditions ne sont pas remplies, on augmente ou on diminue un ou les deux diamètres, selon que l'indiquent les résultats trouvés, et on continue le tâtonnement jusqu'à ce qu'on arrive à des diamètres satisfaisant aux conditions exigées.

122. 5^e Problème. Distribution d'eau au moyen d'une conduite de différents diamètres.

Une telle distribution se compose d'une suite de conduites de diamètres différents, mais uniformes entre deux écoulements successifs, entre lesquels aussi le débit est constant; on résoudra donc ce problème d'après la marche suivie (120), en déterminant la perte de charge due à chaque conduite partielle en ayant égard, non-seulement à la diminution du débit, mais aussi à la diminution du diamètre; de là on conclura la charge effective à l'origine de chaque branchement, charge qui devra être suffisante pour produire un écoulement convenable dans chaque branchement.

123. 6^e Problème. Une conduite AB (fig. 13) est alimentée à son extrémité A par deux conduites CA et DA, de débits donnés; il s'agit de déterminer les diamètres de ces conduites

Fig. 13.



On assigne une valeur au diamètre de AB; comme on connaît son débit, on obtient au moyen de la table (117) la perte de charge due à cette partie de la conduite, et comme on connaît la différence de niveau des points A et B, on conclut quelle devra être la charge effective au point A. Assignant ensuite des valeurs aux diamètres des conduites CA et DA, comme on connaît le volume d'eau que doit amener chacune de ces conduites, au moyen de la table on obtient la perte de charge pour chacune d'elles, et on en conclut la charge effective au point A; charge qui doit être la même pour les deux conduites, et égale à celle qui a été calculée nécessaire pour produire un écoulement convenable dans AB. S'il n'en était pas ainsi, on modifierait convenablement le diamètre d'une ou de deux ou même de trois conduites partielles.

Si la quantité d'eau fournie par chacune des conduites CA et DA n'était pas déterminée, on pourrait faire varier, outre les diamètres des conduites, les quantités d'eau fournies; mais de manière que la somme de ces quantités soit égale à la dépense de AB. Dans tous les cas, la charge au point A doit être la même pour chacune des conduites CA et DA, et être suffisante pour produire un écoulement convenable dans la partie AB.

124. *Pouce de fontainier.* On évalue quelquefois le débit d'une conduite d'eau en pouces de fontainier, qui équivaut à un débit de 0,000 222 166 de mètre cube par seconde, ou d'environ 13,33 litres par minute, ou encore de 19,1953 mètres cubes par 24 heures.

125. *Borne fontaine.* Une borne fontaine débite moyennement 0,0018 de mètre cube par seconde, ce qui équivaut à peu près à 8 pouces de fontainier; son orifice est placé à 0^m,50 au-dessus du sol, et il suffit, pour son alimentation, que l'eau puisse s'élever de quelques décimètres au-dessus de cet orifice.

126. *Perte de charge due aux coudes.* M. Navier, en discutant les résultats obtenus par Dubuat, a posé la formule

$$p = \frac{u^2}{2g} \left(0.0039 \frac{1}{r} + 0.0186 \right) \frac{a}{r}.$$

p perte de charge due au coude;
 u vitesse moyenne de l'eau dans le tuyau;
 r rayon de l'arc formé par l'axe du coude;
 a développement de l'arc formé par l'axe du coude.

Cette formule fait voir que la perte de charge p est proportionnelle au carré de la vitesse moyenne u et à la longueur de l'arc a ; qu'elle est fonction du rayon r , et indépendante du diamètre du tuyau; enfin qu'elle est d'autant plus petite que r est plus grand.

A Paris, pour les diamètres de conduite successifs :

0^m.05 et 0^m.06, 0^m.08 et 0^m.10, 0^m.15, 0^m.20, 0^m.25 et au-dessus;

les valeurs de r sont respectivement :

0^m.45, 0^m.50, 0^m.75, 1^m.00, 1^m.50.

Avec ces proportions, la perte de charge due aux coudes est très-faible près de la perte due au frottement de l'eau contre les parois des tuyaux, et comme en pratique les coudes sont généralement peu nombreux, on peut ordinairement négliger leur influence sur la perte de charge.

127. *Proportions des tuyaux de conduite.* L'épaisseur à donner à un tuyau cylindrique soumis à une certaine pression intérieure est donnée par la formule

$$e = \frac{hd}{2R}.$$

e épaisseur du tuyau en millimètres;
 h pression intérieure du tuyau, exprimée en mètres de hauteur d'eau;
 d diamètre du tuyau en mètres;
 R résistance à la traction de la matière dont est composé le tuyau, par millimètre carré de section.

Pour la fonte, la résistance absolue à la traction varie de 12 à 14 kilog. par millimètre carré de section; mais en pratique il convient, pour la stabilité des constructions, de réduire la traction à 3 et même à 2 kilogr.; adoptant 2 kilog. dans le cas des tuyaux de conduite, la formule précédente devient

$$e = \frac{hd}{4} = 0.25dh;$$

et si on exprime e en mètres, on a

$$e = 0.00025hd.$$

Cette formule donne encore des épaisseurs inférieures à celles adoptées en pratique ; cela tient à la difficulté d'obtenir, sans défauts, des tuyaux en fonte de 1^m,50 à 2^m,50 de longueur.

Dans les arts, les épaisseurs des tuyaux en fonte se déterminent à l'aide de la formule

$$e = 0^m.01 + 0^m.02d.$$

- e* épaisseur du tuyau en mètres ;
d diamètre du tuyau en mètres.

C'est à l'aide de cette formule qu'ont été déterminées les épaisseurs des tuyaux consignés dans le tableau suivant qui donne en outre les dimensions des autres parties de ces tuyaux.

DIAMÈTRES des tuyaux.	LONGUEURS TOTALES des tuyaux		ÉPAISSEURS des tuyaux.	EMBOITEMENTS			BRIDES			
	avec emboîtement.	sans emboîtement.		diamètres intérieurs.	longueurs.	épaisseurs.	diamètres externes.	épaisseurs au collet.	fruits.	nombre de trous.
0.06	1.60	1.50	0.0112	0.100	0.10	0.015	0.205	0.016	0.003	3
0.08	2.12	2.00	0.0116	0.120	0.12	0.016	0.225	0.020	0.004	4
0.10	<i>id.</i>	<i>id.</i>	0.0120	0.140	<i>id.</i>	<i>id.</i>	0.245	0.024	<i>id.</i>	<i>id.</i>
0.15	2.65	2.50	0.0130	0.195	0.15	0.020	0.301	0.025	0.005	0
0.20	<i>id.</i>	<i>id.</i>	0.0140	0.245	<i>id.</i>	<i>id.</i>	0.355	0.030	<i>id.</i>	<i>id.</i>
0.25	<i>id.</i>	<i>id.</i>	0.0150	0.300	<i>id.</i>	<i>id.</i>	0.410	0.035	<i>id.</i>	<i>id.</i>
0.30	<i>id.</i>	<i>id.</i>	0.0160	0.350	<i>id.</i>	<i>id.</i>	0.470	0.040	<i>id.</i>	8
0.35	2.70	2.50	0.0170	0.410	0.20	0.025	0.530	0.045	<i>id.</i>	<i>id.</i>
0.40	<i>id.</i>	<i>id.</i>	0.0180	0.460	<i>id.</i>	<i>id.</i>	0.585	<i>id.</i>	<i>id.</i>	9
0.45	<i>id.</i>	<i>id.</i>	0.0190	0.510	<i>id.</i>	<i>id.</i>	0.650	<i>id.</i>	<i>id.</i>	<i>id.</i>
0.50	<i>id.</i>	<i>id.</i>	0.0200	0.560	<i>id.</i>	<i>id.</i>	0.700	<i>id.</i>	<i>id.</i>	12
0.60	<i>id.</i>	<i>id.</i>	0.0220	0.660	<i>id.</i>	<i>id.</i>	0.800	<i>id.</i>	<i>id.</i>	<i>id.</i>

Les tuyaux de 0^m,10 et au-dessous, sont garnis, sur leur longueur, de 2 filets de 0^m,08 de largeur sur 0^m,004 de saillie ; et ceux d'un diamètre supérieur, de 3 filets ayant 0^m,08 de largeur sur 0^m,005 de saillie.

Les cordons placés aux extrémités des tuyaux ont, pour le petit bout, un diamètre égal au 1/10 de la longueur de l'emboîtement dans lequel ils pénètrent ; pour le gros bout, c'est-à-dire pour l'emboîtement, ce diamètre est égal à l'épaisseur de l'emboîtement. Ces cordons font une saillie égale à leur rayon sur le corps du tuyau ou de l'emboîtement.

À l'aide du tableau précédent il sera facile de déterminer, par analogie, les proportions à donner à un tuyau en fonte d'un diamètre quelconque.

Les tuyaux en plomb que l'on emploie quelquefois, se faisaient avec des plaques de plomb que l'on soudait après les avoir roulées ; mais maintenant on les étire tant que le diamètre ne dépasse pas une certaine limite ; leur longueur est de 3^m,90. Pour les joindre entre eux, on taille leurs extrémités en sifflet, afin que l'un pénètre un peu dans l'autre, et on fait un nœud de soudure, lequel, pour les diamètres successifs de tuyaux :

$$0^m,04, 0^m,06, 0^m,08, 0^m,11, 0^m,16, 0^m,19, 0^m,22,$$

pèse respectivement :

$$2^k,25, 3^k,50, 4^k,50, 6^k,00, 9^k,00, 11^k,00, 13^k,00.$$

Pour calculer l'épaisseur à donner à un tuyau en plomb, on peut se servir de la formule donnée plus haut,

$$e = \frac{hd}{2R}.$$

Pour le plomb, la ténacité absolue n'est que de 1^k,30 par millimètre carré de section ; c'est 10 fois moins que pour la fonte, ce qui conduit à faire leur épaisseur 10 fois plus grande que pour la fonte placée dans les mêmes circonstances ; mais comme on fait facilement, même sous une faible épaisseur, les tuyaux en plomb homogènes dans toutes leurs parties, on peut s'écarter de cette règle. D'après Bélidor, un tuyau de plomb de 0^m,33 de diamètre et de 0^m,02 d'épaisseur peut résister à une pression de 3 atmosphères. Les tuyaux du parc de Versailles ont 0^m,035 d'épaisseur pour un diamètre de 0^m,65.

On fait encore des tuyaux en bois ; leur résistance à la traction

est très-grande; mais ils sont promptement détruits par la pourriture. Les bois employés à la confection de ces tuyaux, sont le chêne, l'aulne et l'orme.

MOTEURS HYDRAULIQUES.

128. La chute dont on peut disposer pour l'établissement d'un moteur hydraulique, appelée *chute disponible*, est égale à la chute totale du cours d'eau, c'est-à-dire, à la différence de niveau de l'eau en aval de la première des usines d'amont, et de l'eau dans le canal d'aval de l'usine à établir, diminuée de la pente nécessaire à l'écoulement de l'eau entre les deux usines et de celle nécessaire au chenal qui conduit l'eau dans le canal d'aval (110).

129. *Niveau des eaux.* Dans l'établissement d'un canal ou d'un barrage, on ne peut tenir les eaux à un niveau supérieur à 0^m,20 en contre-bas des terrains environnants, à moins qu'on ne soit autorisé à construire des digues le long des rives.

130. *Roues à aubes planes recevant l'eau en dessous, ou roues à choc.* Pour que, dans une roue verticale à aubes planes recevant l'eau en dessous, il y ait équilibre dynamique, on doit avoir théoriquement, d'après M. Bélanger

$$2T_m = mV^2 - m(V-v)^2 - mv^2 - mgh \left(\frac{V}{v} - \frac{v}{V} \right).$$

m masse d'eau dépensée par seconde;

V vitesse d'arrivée de l'eau sur la roue;

v vitesse que conserve l'eau en quittant la roue, ou vitesse du centre d'impulsion des aubes;

h épaisseur de la lame fluide entre la vanne et la roue;

$2T_m$ double de la quantité de travail produite par seconde;

mV^2 force vive que possède l'eau au moment de son choc sur la roue;

$m(V-v)^2$ perte de force vive due au choc de l'eau sur la roue;

mv^2 perte de force vive due à la vitesse que conserve l'eau en quittant la roue.

En négligeant, comme on l'a fait jusqu'à présent, le terme $-mgh \left(\frac{V}{v} - \frac{v}{V} \right)$ dû à l'élévation de niveau de l'eau, en passant de la vitesse V à celle v , on a

$$2T_m = mV^2 - m(V-v)^2 - mv^2, \text{ d'où } T_m = mv(V-v).$$

Ce qui fait voir que, pour une même valeur de V , T_m sera le plus grand possible quand le produit $v(V-v)$ sera maximum; ce qui aura lieu quand on aura $v=V-v$ ou $V=2v$; car si on considère V comme étant le diamètre d'un cercle, $v(V-v)$ représentera le carré d'une perpendiculaire abaissée d'un point de la circonférence sur le diamètre qu'elle divise en deux segments v et $V-v$: or cette perpendiculaire, et par suite son carré, aura la plus grande valeur possible, quand elle passera au centre, ce qui donnera bien $v=V-v$. De plus, en examinant de quelle manière varie la perpendiculaire en faisant varier v et par suite $V-v$, on voit qu'elle ne change pas sensiblement tant que v reste compris entre $\frac{1}{2}$ et $\frac{2}{3}$ de V .

Ainsi, pour ce genre de roues, l'effet maximum aura lieu quand la vitesse de la roue sera moitié de la vitesse avec laquelle l'eau vient la frapper, et cet effet maximum ne diminuera pas sensiblement tant que v restera compris entre $\frac{1}{3}$ et $\frac{2}{3}$ de V .

Remplaçant dans le second membre de la formule précédente v par $\frac{V}{2}$, on a

$$T_m = \frac{mV^2}{4} = \frac{Ph}{2}.$$

$P=mg$ poids d'eau dépensé par seconde;

$h = \frac{V^2}{2g}$ chute effective, que l'on prend égale à la hauteur du niveau de l'eau en amont de la vanne, au-dessus du niveau de l'eau derrière la roue.

Cette dernière formule fait voir que l'effet utile maximum n'est que moitié du travail total dépensé.

Dans la dernière valeur de T_m , on a fait $V^2 = 2gh$, ce qui suppose que la hauteur du niveau de l'eau dans le bief supérieur, au-dessus du centre de gravité de l'ouverture de la vanne, est égale à h , et que la vitesse de l'eau n'est pas diminuée entre la vanne et la roue.

Les pertes d'eau qu'on a négligées dans l'établissement des formules précédentes, ainsi que les divers frottements, font que le travail utile effectif n'est que les 0,60 environ du travail moteur théorique; ainsi on a seulement,

$$T_m = 0,60 \frac{P/h}{2} = 0,30P/h.$$

M. Bélanger pense qu'avec de bonnes dispositions de roues, on peut augmenter considérablement cet effet utile.

La théorie donne $v = \frac{1}{2} V$ correspondant au maximum d'effet ; mais les roues construites donnent ordinairement $v = \frac{2}{5} V$.

L'effet utile de ce genre de roues est faible ; mais comme il est indépendant du diamètre de la roue, que l'on peut faire varier de 2^m,00 à 8^m,00 ; et que de plus on peut, sans altérer sensiblement cet effet utile, faire varier la vitesse dans des limites étendues, ces roues sont avantageuses quand on a besoin d'une grande vitesse directe de rotation, et surtout quand on est obligé de faire varier dans des limites étendues la vitesse de roue.

Il convient, pour que la marche de la roue soit régulière, que sa vitesse au centre d'impulsion des aubes ne soit pas inférieure à un mètre.

Pour une levée de vanne de 0^m,10 à 0^m,12, le jeu entre les aubes et le coursier peut varier de 0^m,005 à 0^m,01 ; pour une levée de 0^m,15 à 0^m,16, ce jeu peut aller à 0^m,015 ; et pour 0^m,22 à 0^m,24, il peut atteindre 0^m,02 ; la levée de la vanne se mesure verticalement.

Il convient d'incliner la vanne afin de rapprocher, autant que possible, son ouverture du point d'action de l'eau sur la roue ; ce qui diminue les frottements de l'eau dans le coursier, ainsi que le coefficient de la dépense de la vanne.

D'après M. Bélanger, on peut conclure qu'il convient de donner au fond du coursier, entre la vanne et la roue, une inclinaison de 1/12 à 1/15 ; de le faire concentrique à la roue sur une étendue au moins double de l'intervalle de deux aubes consécutives, et divisée en deux parties égales par la verticale passant par l'axe de la roue ; de prolonger ensuite le fond du coursier par un plan de 1^m,50 à 2^m,00 de longueur, se raccordant avec le canal de fuite ; ce plan étant incliné de manière qu'au point où il se raccorde avec le canal de fuite, la profondeur d'eau soit égale ou un peu supérieure au double de la levée de la vanne. On incline ensuite le canal de fuite de

1/15 sur une longueur de 10 mètres ; et, de plus, si les localités le permettent, on l'élargit graduellement de 0^m,50 de chaque côté pour cette longueur de 10 mètres ; il faut éviter de faire cet élargissement d'une manière brusque.

D'après M. Bélanger, il y a théoriquement avantage de faire plonger les aubes, quelle que soit leur vitesse, tant que leur enfoncement dans l'eau ne dépasse pas l'épaisseur de la veine fluide, et même plus si la vitesse est très-grande. La pratique a confirmé cet avantage, tant que la partie plongée des aubes ne dépasse pas les 2/3 ou les 3/4 de l'épaisseur de la lame fluide ; et elle a appris, en outre, qu'il n'y avait aucun inconvénient à faire plonger les aubes de toute l'épaisseur de la lame. D'après cela, il convient donc de tenir le fond du coursier au-dessous du niveau de l'eau en aval de la roue.

La hauteur des aubes varie entre 2 fois 1/2 et 3 fois la levée verticale de la vanne ; et leur distance, mesurée sur la circonférence extérieure, entre 1 fois et 1 fois 1/2 au plus leur hauteur.

Le nombre des aubes doit être le nombre pair le plus rapproché de 6 fois le diamètre moyen de la roue exprimé en mètres ; la difficulté de placer convenablement ce nombre d'aubes, à cause de la position des bras, peut seule le faire modifier.

D'après Deparcieux, une inclinaison de 20 à 22° des aubes sur le rayon, du côté qu'elles reçoivent l'eau, augmente un peu l'effet utile de la roue ; cependant d'autres expériences de Bossut avaient confirmé le contraire, et en pratique il ne convient guère de les incliner que quand la roue est sujette à être noyée, parce qu'alors cette disposition permet aux aubes de sortir plus facilement de l'eau.

La chute maxima convenable à ce genre de roue, est 1^m,30 ; pour des chutes plus grandes, le choc de l'eau contre la roue donne une perte de force vive considérable.

131. *Roues à aubes courbes recevant l'eau en dessous, dites roues à la Poncelet.*

Pour que dans une roue à la Poncelet il y ait équilibre dynamique, on doit avoir

$$2T_m = mV^2 - m(V - 2v)^2.$$

m masse d'eau dépensée par seconde ;

V vitesse d'arrivée de l'eau sur la roue ;

v — $2v$ vitesse absolue que conserve l'eau en quittant l'aube ;
 $2T_m$ double de la quantité de travail produite par seconde ;
 mV^2 force vive que possède l'eau à son arrivée sur la roue ;
 $m(V-2v)^2$ perte de force vive due à la vitesse que conserve l'eau.

$2T_m$ sera maximum quand la perte de force vive $m(V-2v)^2$ sera nulle, c'est-à-dire quand on aura $V=2v$, ce qui donne

$$T_m = \frac{mV^2}{2} = Ph. \quad (\text{Page 129.})$$

Formule qui fait voir que le travail utile théorique est égal au travail dépensé, et double de celui produit par les roues à aubes planes (130).

Les formules précédentes ne peuvent être vraies, qu'autant que l'eau ne produit pas de choc contre l'aube, c'est-à-dire, qu'autant que toute l'eau arrive tangentiellement à cette aube, ce qu'il est impossible d'obtenir en pratique, à cause de l'épaisseur de la lame fluide, quelle que soit du reste la forme de l'aube ; il y a donc toujours choc, et par suite une perte de force vive qui est négligée dans les formules. Jamais non plus l'eau ne reste sans vitesse après avoir quitté la roue. On a aussi négligé les pertes d'eau, ainsi que le frottement de l'eau dans les aubes, et celui des tourillons. Malgré toutes ces causes de diminution de l'effet utile, l'expérience prouve qu'avec de bonnes dispositions de roue on obtient :

$T_m = 0,65Ph$	pour des chutes de	$1^m,20$	et au-dessous.
$T = 0,60Ph$		<i>id.</i>	$1,30$ à $1^m,50$.
$T_m = 0,55$ à $0,50 Ph$		<i>id.</i>	$1,80$ à $2,00$.

Sauf des circonstances particulières, il convient de n'employer ces roues que pour des chutes inférieures à $1^m,50$, et elles sont surtout avantageuses pour des chutes qui ne dépassent pas 1 mètre.

D'après les expériences de M. Poncelet, on doit avoir en pratique $v = 0,55V$.

La forme de l'aube peut être une courbe quelconque, pourvu qu'elle soit continue ; le plus souvent c'est un arc de cercle. Dans tous les cas elle doit être normale, ou à peu près, à la circonférence intérieure de la roue au point où elle la rencontre, et faire avec la circonférence extérieure un angle de 25 à 30° .

Théoriquement, il suffit que la hauteur des aubes, c'est-à-dire la

distance entre les circonférences intérieure et extérieure de la roue, soit le $1/4$ de la hauteur de chute, plus l'épaisseur de la lame d'eau à son arrivée sur la roue ; mais pour éviter que l'eau ne jaillisse encore dans la roue, il convient, en pratique, de la faire égale au $1/3$ de la chute, plus l'épaisseur de la lame fluide.

L'écartement des aubes à la circonférence extérieure de la roue varie de $0^m,20$ à $0^m,25$; leur nombre, qui doit être divisible par celui des bras, est ordinairement 36 pour les roues de 3 à 4 mètres de diamètre, et 48 pour celles de 6 à 7 mètres.

La levée verticale de la vanne, varie de $0^m,20$ à $0^m,30$ pour des chutes de $1^m,50$ et au-dessous, et de $0^m,08$ à $0^m,12$ pour des chutes de $2^m,00$ et au-dessus.

L'écartement intérieur des couronnes doit être de $0^m,06$ à $0^m,10$, plus grand que la largeur de l'orifice de la vanne.

Le fond du bief supérieur est à peu près horizontal ; on le raccorde avec le coursier dont la pente varie entre $1/10$ et $1/15$, depuis la vanne jusqu'à son point de tangence avec la circonférence extérieure de la roue ; à partir de ce point le coursier est concentrique à la roue jusqu'à une distance, en aval de la verticale passant par l'axe de la roue, comprise entre 1 fois et 1 fois $1/2$, l'intervalle de deux aubes consécutives ; enfin, le coursier se termine par un ressaut de $0^m,30$ à $0^m,35$ de profondeur, dont le sommet doit être au niveau des eaux moyennes dans le canal de fuite. La largeur du coursier, entre la vanne et la roue, est égale à celle de l'ouverture de la vanne, la partie qui touche la roue est élargie de manière à envelopper les couronnes en laissant un centimètre de jeu de chaque côté ; le coursier doit conserver cette largeur jusqu'à une hauteur de $0^m,10$ au-dessus du point le plus élevé de l'ouverture de la vanne.

L'inclinaison de la vanne varie de un à deux de base pour deux de hauteur, ce qui porte, en arrondissant les côtés verticaux du pertuis, le coefficient de la dépense à 0,75 pour la première inclinaison, et à 0,80 pour la seconde.

Les aubes peuvent, sans que l'effet utile soit sensiblement diminué, être noyées d'une hauteur égale à l'épaisseur de la lame fluide.

132. *Roues de côté.* Ces roues reçoivent l'eau un peu au-dessous du niveau de leur axe, et sont, le plus exactement possible, enve-

loppées d'un coursier circulaire sur toute la partie soumise à l'action de l'eau. Leur équilibre dynamique donne, pour une seconde, en négligeant les pertes d'eau et le frottement des tourillons,

$$T_m = PH - \frac{P}{2g}(V^2 + v^2 - 2Vv \cos \alpha) - \frac{P}{2g}v^2 - t_r.$$

- P poids total d'eau déposé;
 H chute totale ou différence du niveau de l'eau dans le bief supérieur et derrière la roue;
 V vitesse moyenne du filet moyen, au moment où il rencontre la roue ou l'eau qui se trouve déjà sur l'aube;
 v vitesse de la roue, et de l'eau à sa sortie des aubes;
 α angle que font entre elles les deux vitesses V et v au point où le filet moyen rencontre la roue ou l'eau qui se trouve déjà sur l'aube;

$(V^2 + v^2 - 2Vv \cos \alpha) = W^2$; W étant la résultante de la vitesse V et d'une vitesse égale et directement opposée à v, c'est-à-dire, étant la vitesse relative de l'eau par rapport à la roue. Les valeurs de V, v, α et W varient, pour tous les filets fluides et pour toutes les positions que prend l'aube, par rapport aux positions de ces différents filets, depuis le point où l'auget admet chaque filet, jusqu'au point où il cesse de le recevoir; mais, afin de rendre possible l'évaluation des termes de la formule précédente, on supposera, en pratique, la veine fluide concentrée dans son filet moyen; on prendra V pour le point où le filet moyen rencontre la circonférence extérieure de la roue; v sera la vitesse de la circonférence extérieure de la roue, et sera, pour la détermination de W, dirigée en sens contraire, suivant la tangente à cette circonférence extérieure, au point où le filet moyen la rencontre. Du reste, à l'aide d'une épure représentant l'auget dans ses différentes positions, et le niveau de l'eau qui s'y trouve, on déterminerait facilement, d'une manière approximative, pour V, v, α et W, des valeurs moyennes plus exactes que les valeurs que nous venons de supposer;

- T_m travail utile transmis par l'arbre de la roue;
 PH travail total dépensé;
 $\frac{P}{2g}(V^2 + v^2 - 2Vv \cos \alpha)$ perte de travail due aux réactions et au frottement de l'eau contre la roue;
 $\frac{P}{2g}v^2$ perte de travail due à la vitesse que conserve l'eau;
 t_r perte de travail due au frottement de l'eau contre le coursier, et que, jusqu'à un certain point, on peut évaluer par la formule de M. de Prony $R1 = (av + bv^2)$, en considérant, dans ce cas, v comme étant sensiblement égale à la vitesse du fond et non la vitesse moyenne (110); quand les roues marchent avec une faible vitesse, 1^m,30 et au-dessous, on peut négliger t_r .

La valeur de T_m peut être mise sous la forme :

$$T_m = PH - \frac{PV^2}{2g} + \frac{Pv}{g}(V \cos \alpha - v) - t_r.$$

Ce qui fait voir que pour une même valeur PH, T_m est d'autant plus grand que la vitesse V est plus petite; c'est afin de rendre V aussi petite que possible, que l'on fait arriver l'eau sur la roue par une vanne en déversoir; cette dernière formule fait voir aussi que

T_m est d'autant plus grand que le terme $\frac{Pv}{g}(V \cos \alpha - v)$ est plus

grand, ce qui a lieu, pour des valeurs déterminées de V et v, quand $\cos \alpha$ est maximum, c'est-à-dire égal à l'unité, et que par conséquent $\alpha = 0^\circ$; c'est ce qui a lieu pour les roues recevant l'eau tout à fait en dessous (130 et 131), ou ce qui aurait lieu dans une roue de côté si l'on pouvait faire arriver l'eau tangentiellement à la roue. Les valeurs de V et de α étant déterminées, le terme

$\frac{Pv}{g}(V \cos \alpha - v)$ est maximum quand on a $v = \frac{V \cos \alpha}{2}$ (mêmes

considérations que celles qui donnent $v = \frac{V}{2}$, n° 130, page 129).

On a

$$\begin{aligned} W^2 &= (V^2 + v^2 - 2Vv \cos \alpha) = (V - v \cos \alpha)^2 + v^2 - v^2 \cos^2 \alpha = \\ &= (V - v \cos \alpha)^2 + v^2 \sin^2 \alpha; \end{aligned}$$

Ce qui fait voir que la plus petite valeur de W correspond, pour des valeurs déterminées de v et de α , à $V = v \cos \alpha$; et que cette valeur minima est $v^2 \sin^2 \alpha$; à cause de la grandeur de α , cette valeur de V n'est guère possible à moins que la vitesse v soit grande, et que l'eau arrive par déversoir.

En pratique, l'effet utile de ces roues est les 0,70 de l'effet total PH dépensé, quand les chutes approchent de 2^m,50; et il n'est que les 0,50 de PH pour les chutes de 1^m,20; de sorte qu'on peut considérer les 0,60 de PH, comme étant l'effet utile moyen produit par ce genre de roue; mais par des dispositions favorables, cet effet utile peut être augmenté.

Les considérations exposées plus haut conduisent à donner à la roue une vitesse $v = \frac{V \cos \alpha}{2}$, ordinairement on a en pratique $v = 0,45 V$.

La vitesse convenable à ces roues est de 1^m,30 par seconde; elle ne doit pas être inférieure à 1 mètre et supérieure à 2.

L'abaissement de la vanne, au-dessous du niveau de l'eau dans le bief supérieur, doit être au minimum de 0^m,15 à 0^m,16, et au maximum de 0^m,22 à 0^m,27; par là, la perte d'eau entre les aubes et le coursier, qui dépend de la largeur de la roue, n'est pas trop considérable ainsi que le choc de l'eau contre les aubes.

Ordinairement les aubes sont planes et dirigées suivant le rayon; mais il convient, afin de diminuer le choc de l'eau, de diriger leur premier élément suivant la direction de la vitesse W, et de les faire courbes comme pour les roues à la Poncelet; c'est ce que l'on fait quand elles sont en tôle; mais quand elles sont en bois, on les compose de deux parties planes, l'une dirigée suivant la direction de W et égale à peu près, aux 2/3 de la profondeur de l'auget, et l'autre dirigée à 45° sur le rayon, et raccordant la première avec la fonçure de la roue.

Le centre de la roue doit toujours être placé au-dessus du niveau de l'eau dans le bief supérieur, et s'il est possible à 0^m,50 au-dessus de ce niveau. Avec cette précaution la partie extérieure de l'aube peut être dirigée suivant le rayon de la roue, ce qui facilite la construction.

Le diamètre de la roue ne peut guère avoir moins de 4 mètres.

Les chutes auxquelles on peut appliquer ce genre de roues avec avantage, ne peuvent être supérieures à 2^m,50 et inférieures à 1^m,20.

La capacité de l'aubage doit être à moitié remplie par l'eau, et ne doit jamais l'être à plus des deux tiers quand le volume à débiter est constant; dans tous les cas elle doit être suffisante pour débiter les plus grandes eaux.

On fait la longueur des aubes égale à la largeur de la vanne, et on ménage dans la fonçure de la roue des petits espaces libres pour le dégagement et l'entrée de l'air.

L'espacement des aubes peut varier de 0^m,33 à 0^m,40.

Les aubes peuvent plonger dans l'eau de l'épaisseur de l'eau comprise entre elles, pourvu que le coursier ait, depuis l'aplomb de l'arbre jusqu'au point où les aubes quittent l'eau, une légère pente qui entretient à l'eau une vitesse égale à celle de la roue; au delà de ce point, le coursier se termine par un ressaut brusque, ou par une pente de 0^m,10 par mètre qui le raccorde avec le fond de la rivière.

On construit encore des roues de côté dont la vanne est dis-

posée avec charge sur le sommet; mais on ne doit employer cette disposition que quand la vitesse v de la roue est, ou peut devenir, trop grande pour que l'on puisse obtenir une vitesse V convenable au moyen d'un déversoir; il peut arriver aussi que le niveau de l'eau dans le bief supérieur soit trop variable, ou que le fond du lit soit trop mobile pour pouvoir établir une vanne plongeante. Ces roues mixtes rendent un effet utile d'autant moindre que la vanne est placée plus bas par rapport à la chute totale; cet effet est les 0,40 environ du travail total dépensé pour des vitesses de roues approchant de 3^m,00; si, au contraire, la vitesse de la roue n'est que de 1^m,50, ce qui permet de baisser un peu moins la vanne, l'effet utile peut atteindre les 0,50 du travail total dépensé.

133. *Roues à augets.* L'équilibre dynamique de ces roues a la même expression que pour les roues précédentes; ainsi on a, pour une seconde, en négligeant les pertes d'eau, le frottement de l'eau contre le coursier, et celui de l'axe de la roue,

$$T_m = PH - \frac{P}{2g}(V^2 + v^2 - 2Vv \cos \alpha) - \frac{P}{2g}v^2.$$

Les mêmes lettres ont les mêmes significations qu'au n° 132.

La formule précédente peut être mise sous la forme :

$$T_m = PH - \frac{PV^2}{2g} + \frac{Pv}{g}(V \cos \alpha - v).$$

D'où on conclut, comme pour les roues de côté, que l'effet utile T_m augmente à mesure que $\frac{PV^2}{2g}$ diminue et que le terme $\frac{Pv}{g}(V \cos \alpha - v)$ augmente; or, pour un même poids d'eau P , $\frac{PV^2}{2g}$ dépend de la vitesse V , qu'il faudra par conséquent rendre aussi petite que possible; le terme $\frac{Pv}{g}(V \cos \alpha - v)$ sera maximum quand, pour des valeurs déterminées de V et v , α sera nul; cet angle est toujours très-faible pour les roues recevant l'eau près du sommet. On voit aussi que, pour des valeurs déterminées de V et de α , le terme précédent sera maximum quand on aura $v = \frac{V \cos \alpha}{2}$, ou en supposant

$\cos \alpha = 1$, $v = \frac{V}{2}$. En pratique, la valeur de v peut varier des 0,30 aux 0,80 de V , sans que l'effet utile soit sensiblement altéré; cependant pour les petites roues il convient de tenir v entre 0,40 et 0,60 de V . Cette propriété des roues à augets, de permettre une aussi grande variation de vitesse de rotation, les rend précieuses dans un grand nombre de circonstances; pour les marteaux, par exemple, où non-seulement la vitesse est grande, mais aussi doit varier à chaque instant entre des limites très-éloignées.

La vitesse des roues à augets ne doit pas être inférieure à 1^m,00 pour que sa marche soit régulière; et elle peut atteindre 2^m,00 pour les petites roues, et 2^m,50 pour les grandes, sans que l'effet utile soit sensiblement altéré. Pour les roues de marteaux, dont l'arbre porte la bague à cames, la vitesse atteint quelquefois 4 et 5 mètres, quoique leur diamètre ne soit que de 3 à 4 mètres; mais alors l'effet utile est diminué.

Les augets commençant à verser leur eau avant d'être arrivés au point le plus bas de la roue, il en résulte une perte d'effet utile d'autant plus forte que la hauteur de versement et la quantité d'eau versée sont plus grandes, et que par conséquent le diamètre et la vitesse de la roue sont plus grands. C'est afin d'éviter ce versement que l'on enveloppe quelquefois la roue d'un coursier, depuis le point où commence le versement jusqu'au point où les augets sortent de l'eau.

Versement des augets. L'action réciproque de la pesanteur et de la force centrifuge fait que la surface du liquide contenu dans l'auget prend une forme cylindrique à section circulaire dont le centre O est, d'après M. Poncelet, situé sur la verticale passant par l'axe de la roue, à une distance au-dessus de cet axe, égale à

$$\frac{g}{\omega^2}.$$

$g=9^m,8088$ accélération de vitesse due à la pesanteur;
 ω vitesse angulaire (75); elle est égale au quotient de la vitesse d'un point quelconque de la roue par la distance de ce point à l'axe, d'où l'on voit que la distance $\frac{g}{\omega^2}$ est indépendante du rayon de la roue.

Le centre commun O des courbes affectées par la surface du li-

quide contenu dans un auget étant connu, ainsi que la quantité de liquide contenue dans l'auget, il sera facile, à l'aide d'une épure, de déterminer le point où l'auget commencera à verser; puisqu'en ce point il devra encore contenir tout le liquide, et que la surface de ce liquide, qui a pour centre le point O , devra passer par l'arête extérieure de l'auget. A partir du point où l'auget commence à verser, la surface du liquide passant toujours par son arête extérieure, il est facile de déterminer la quantité de liquide contenu dans l'auget à une position quelconque, et par suite la quantité de liquide perdue dans le passage de l'auget d'une position à une autre. Divisant alors la hauteur verticale h' , du point où commence le versement au-dessus du niveau de l'eau derrière la roue, en un certain nombre pair de parties égales, 6, par exemple; et déterminant les quantités de liquide $q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6$, perdues par l'auget quand il arrive successivement: au point où commence le versement, au 1, 2, 3, 4, 5 point de division de h' et au bas de h' ; la perte de travail t_p , due au versement du liquide, est, en appliquant la formule de Thomas Simpson,

$$t_p = \frac{h'}{6 \times 3} (q_0 + q_6 + 4(q_1 + q_3 + q_5) + 2(q_2 + q_4)).$$

Il est à remarquer que l'on a $q_0 = 0$, puisque q_0 correspond au point où commence le versement; q_6, q_5 et souvent q_4 seront égaux chacun au poids total d'eau que reçoit l'auget en passant devant la vanne. Supposant qu'il passe un auget par seconde devant la vanne, la perte de travail par seconde due au versement sera nt_p .

Effet utile. Une roue à auget bien disposée, enveloppée d'un coursier et marchant à une faible vitesse, rend quelquefois un effet utile $T_m = 0,80 \text{ PII}$; mais, avec les dispositions ordinairement usitées en pratique, la vitesse étant comprise entre 1^m,00 et 2^m,00 et les augets remplis à moitié, cet effet utile est généralement compris entre 0,70 et 0,75 PII , que les roues soient libres ou à coursier. Pour des vitesses plus grandes, et des augets remplis au delà des $\frac{2}{3}$ de leur capacité, cet effet descend jusqu'à 0,60 QH , surtout pour les roues sans coursier. Enfin pour les petites roues de marteaux marchant à grande vitesse, cet effet n'est quelquefois que de 0,37 QH ; ce faible rendement d'effet utile est dû à ce que l'eau tombant avec impé-

tuosité sur la roue qui marche très-vite, rejait hors la roue, ou est emportée hors des augets par la force centrifuge ; c'est surtout dans ce cas que le coursier produit une augmentation sensible d'effet utile.

Augets. La capacité des augets est les $\frac{3}{4}$ de celle de la couronne, et comme ils ne doivent être que moitié pleins, l'eau n'occupe donc que les $\frac{3}{8}$ de la couronne.

On a

$$Q = KeV \quad \text{d'où} \quad l = \frac{Q}{KeV}$$

Q volume d'eau dépensé par seconde ;

K coefficient de la dépense ;

e levée de la vanne ;

l largeur de l'ouverture de la vanne ;

V vitesse d'écoulement de l'eau.

Pour que l'air se dégage facilement des augets, on fait leur longueur, c'est-à-dire la distance des couronnes, égale à l augmentée de $0^m,10$ à $0^m,12$; on doit avoir alors ,

$$Q = \frac{3}{8} lbv, \quad \text{d'où} \quad b = \frac{8Q}{3lv}$$

b hauteur des augets, mesurée suivant le rayon ; elle ne doit jamais dépasser $0^m,40$, on la fait ordinairement égale à $0^m,30$ ou $0^m,35$, et il vaudrait mieux, afin de faire agir l'eau sur la plus grande hauteur possible, et de diminuer sa vitesse relative W à son entrée dans la roue, ne lui donner que de $0^m,25$ à $0^m,28$.

v vitesse de la circonférence moyenne de la roue ;

$l' = l + 0^m,10$ ou $0^m,12$, longueur des augets, mesurée entre les couronnes.

Avec une vitesse de $1^m,30$ à $1^m,40$, une roue à augets dépense convenablement de 70 à 100 litres d'eau par seconde et par mètre de longueur de roue.

La levée verticale de la vanne dépasse rarement $0^m,10$ à $0^m,12$; elle est souvent de $0^m,04$ à $0^m,05$ et quelquefois moins ; cette faible épaisseur de la veine fluide rend facile son introduction dans les augets.

L'ouverture des augets, c'est-à-dire la plus petite distance de deux aubes consécutives, est égale, non compris l'épaisseur du bois qui est de $0^m,03$, à l'épaisseur de la veine fluide augmentée de

$0^m,01$. La distance des aubes, mesurée suivant la circonférence extérieure de la roue, varie de $0^m,30$ à $0^m,40$.

L'espace compris entre deux bras doit contenir un nombre entier d'augets.

Fig. 14.



La forme des augets est variable ; mais le plus souvent son aube se compose de deux parties : l'une, AB (fig. 14), dirigée suivant le rayon de la roue, et égale à la moitié de la hauteur AC de la couronne ; l'autre, BD, joignant le point B au point D extrémité du rayon passant par le fond de l'auget suivant.

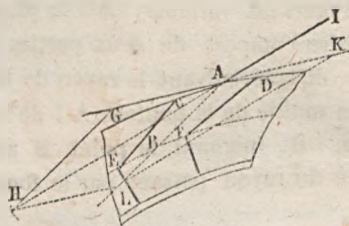
M. d'Aubuisson fait le fond EF égal au $\frac{1}{3}$ de ED qui est ordinairement égal à $0^m,30$, et mène FG faisant l'angle GFE de 110° à 118° suivant que les roues ont de $4^m,00$ à $12^m,00$ de diamètre ; l'angle que fait GF avec la tangente à la circonférence extérieure au point G est de 31° , et il ne doit jamais dépasser 33° . On obtient cette disposition en pratique, en prenant simplement GH égal à $0^m,04$ ou $0^m,05$, quand, comme le conseille M. d'Aubuisson, on a eu soin de prendre la distance IF égale à $0^m,32$ environ. Dans tous les cas, la plus petite distance IK de deux aubes consécutives, non compris l'épaisseur des aubes, doit être au moins égale à l'épaisseur de la lame fluide augmentée de $0^m,01$. M. d'Aubuisson conseille de ne pas donner à IK moins de $0^m,11$ à $0^m,12$.

Quelquefois la partie extérieure de l'aube est brisée comme l'indique la forme LMNP ; l'angle LPN varie de 50° à 60° et celui que fait LM avec la tangente à la circonférence extérieure au point L, de 25° à 30° . On prend PN égal à la moitié de PQ, et Pt compris ordinairement entre les $\frac{3}{4}$ et les $\frac{5}{6}$ de PQ. Cette forme a l'avantage de donner plus de capacité à l'auget, et de diminuer le choc de l'eau ainsi que la hauteur de déversement ; mais la construction en est plus difficile.

La forme d'une courbe continue ST dont l'élément extérieur fait un angle très-faible avec la tangente à la circonférence extérieure au point S, est celle que l'on doit préférer, soit pour diminuer les réactions de l'eau, soit pour augmenter la capacité des augets, soit

aussi pour leur faire conserver leur eau sur la plus grande hauteur de chute possible; c'est la disposition adoptée pour les aubes en tôle, mais elle est impraticable pour les aubes en bois.

Fig. 15.



Direction du filet moyen. La forme de l'auget étant déterminée, il faut donner à la lame fluide une direction telle, que les différents filets qui la composent, pénétrant dans l'auget en choquant le moins possible les deux faces de la partie extérieure de l'aube. En pratique, on déterminera

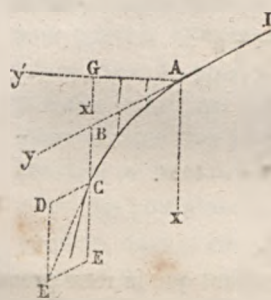
la direction à donner au filet moyen de la lame fluide qui rencontre la circonférence extérieure de la roue au point A (fig. 15), en menant la ligne AB qui divise en deux parties égales les deux arcs CD et EF, compris entre les parties extérieures des deux aubes consécutives; puis, prenant, à partir du point A sur la tangente à la circonférence extérieure de la roue, une distance AG représentant à une échelle quelconque la vitesse de la roue, si, par le point G, on mène GH parallèle à AB, et que du point A, avec un rayon AI égal à la vitesse V du filet moyen à son arrivée sur la roue, on décrive un arc de cercle qui coupe GH au point H, la ligne HA prolongée en AI représentera la direction à donner au filet moyen à son arrivée sur la roue. En effet, si on détermine la vitesse relative W en prenant la résultante de la vitesse $AH = V$ et de AK qui est égale et directement opposée à $AG = v$, cette résultante sera représentée en grandeur et en direction par AI, ce qu'il faut obtenir pour que les différents filets composant la veine fluide, choquent le moins possible les deux faces de l'aube, pendant tout le temps de leur introduction dans l'auget.

Si l'eau a la même vitesse moyenne dans toute la longueur du coursier d'arrivée, l'épaisseur de la lame y est uniforme, ce que l'on peut généralement supposer dans le cas des roues à augets, et le fond du coursier est parallèle au filet moyen, c'est-à-dire à AI. Comme on a la vitesse de l'eau dans le coursier (105), ainsi que le débit et la section du coursier, on en conclut la profondeur de la lame fluide et par suite la position du fond du coursier, quel'on place

à une distance du filet moyen, égale à la demi-épaisseur de la lame. Si le coursier était trop incliné pour que la vitesse de l'eau fût la même sur toute sa longueur, on déterminerait la vitesse à son origine et à son extrémité à l'aide des formules (105), de ces vitesses on conclurait les épaisseurs de la lame fluide, et par suite la position du fond du coursier par rapport à celle du filet moyen.

Dans la construction précédente, on a déterminé la direction à donner au filet moyen, en supposant qu'il se mouvait, après avoir quitté le coursier, dans la direction qu'il possédait avant, ce qui n'a pas lieu; car, outre le dénivèlement qui peut avoir lieu à l'extrémité du coursier et qui fait baisser un peu la direction du filet moyen, la pesanteur le fait baisser dès qu'il a quitté l'extrémité du coursier, et lui fait décrire, comme à un corps lancé dans l'espace, une parabole dont la tangente en un point quelconque, représente la direction de la vitesse du filet moyen en ce point. Il conviendra donc, dans le cas où le coursier ne versera pas son eau très-près de la roue, soit à cause de l'épaisseur de son fond, soit à cause du jeu laissé entre ce fond et la roue, de prendre pour AI (fig. 15) la tangente à cette parabole au point où elle rencontre la circonférence extérieure de la roue.

Fig. 16.



On tracera la courbe décrite par le filet fluide, à partir du point A (fig. 16) situé en amont de l'extrémité du coursier, à une distance environ égale à l'épaisseur de la lame fluide, en considérant qu'à partir de ce point il est soumis à une vitesse initiale constante V qui lui a fait parcourir, suivant le prolongement de IA, après un temps t , une distance $AB = y = Vt$ (3); et à l'action de la pesanteur que lui a communiquée, après le même temps t , une vitesse verticale égale à gt , et lui a fait parcourir un espace vertical égal à $BC = x = 1/2 gt^2$ (7). En donnant à t différentes valeurs, et déterminant les valeurs correspondantes de y et de x , on a la position du filet moyen après un temps quelconque, ce qui permet de tracer par points la courbe qu'il décrit.

Le filet moyen possède, après le temps t , c'est-à-dire quand il est

arrivé au point C, une vitesse $CD=V$ parallèle à AD, et une vitesse verticale $CE=gt$; formant alors le parallélogramme DCEF, la diagonale CF, qui sera tangente à la courbe, représentera en grandeur et en direction la vitesse réelle du filet moyen au point C; d'où l'on voit qu'avec une épure, il est facile de déterminer, non-seulement la direction du filet fluide au moment où il choque un point quelconque de l'aube ou de l'eau qui se trouve dans l'auget, mais aussi l'intensité de la vitesse qu'il possède en ce point.

Des valeurs précédentes de y et de x on conclut

$$y^2 = \frac{2V^2}{g} x,$$

ou en faisant $V^2 = 2gh$,

$$y^2 = 4hx;$$

d'où l'on peut conclure, comme pour un corps lancé dans l'espace sous une direction quelconque, que le filet fluide décrit, en négligeant aussi la résistance de l'air, une parabole dont le paramètre est égal à 4 fois la hauteur h due à la vitesse initiale.

Si, au lieu de prendre pour axe des y la direction initiale AB, on prend l'horizontale AG, on a, en désignant l'angle GAB par α ,

$$x' = y' \operatorname{tang} \alpha + \frac{g}{2V^2 \cos^2 \alpha} y'^2;$$

et dans le cas où α serait nul, on aurait

$$x' = \frac{g}{2V^2} y'^2, \text{ d'où } y'^2 = \frac{2V^2}{g} x' = 4hx'.$$

Même équation que dans le cas précédent.

Vannage. Il se fait de deux manières, suivant que la roue prend l'eau au-dessus de son sommet, ou à une certaine hauteur au-dessous. Dans le premier cas, si le niveau de l'eau est tout à fait constant, on établit le point supérieur de la roue à $0^m,20$ au-dessous de ce niveau, et à l'aide d'un coursier dont le fond est en fonte, afin de lui donner le moins d'épaisseur possible, on amène l'eau sur la roue. Le fond du coursier se prolonge jusqu'à environ $0^m,40$ en aval du diamètre vertical de la roue, et il convient, pour empêcher l'eau

de rejaillir latéralement, de prolonger encore ses parois verticales sur une étendue d'environ trois augets. On incline le fond du coursier d'après les considérations indiquées page 142 (*direction du filet moyen*), en ne le séparant de la roue que de $0^m,01$; par là l'eau arrive sur la roue avec une faible vitesse, plus grande encore que celle de la roue; et si on ne donne à la couronne que de $0^m,25$ à $0^m,28$ de hauteur suivant le rayon de la roue, ce qui diminue la profondeur de l'auget et par suite la vitesse d'arrivée de l'eau contre le fond de cet auget tout en augmentant la hauteur d'action de l'eau sur la roue, on se trouvera alors dans les meilleures conditions sous le rapport de l'effet utile rendu par la roue. Lorsque le niveau de l'eau est variable, on établit le seuil de la vanne assez bas, pour que, pendant les plus basses eaux, le débit soit encore suffisant pour la marche de régime de la roue.

Lorsque le niveau dépassera, pendant un certain temps de l'année et d'une certaine quantité, le niveau le plus bas pour lequel la roue peut être établie; il conviendra, malgré la plus grande perte de chute due à l'introduction de l'eau dans les augets, et la plus grande hauteur de déversement de ces augets, hauteur qui croît avec le diamètre de la roue, de faire arriver l'eau à une certaine distance au-dessous du sommet de la roue et du côté d'amont. Dans ce cas, comme dans le cas précédent, la vanne devra être établie pour pouvoir alimenter convenablement la roue pendant les plus basses eaux. Le point supérieur de la roue se place de manière que la vanne ne soit pas trop inclinée, sans cependant prendre un diamètre de roue trop grand; pour des roues d'un diamètre moyen, il convient de le placer à $1^m,15$ environ au-dessus du niveau supérieur des plus grandes eaux. Pour les constructions soignées, on emploie, dans ce cas, pour distribuer l'eau sur la roue, le vannage en fonte *fig. 10* (105), dont la direction du filet moyen de chaque veine fluide partielle se détermine comme il a été indiqué plus haut, en prenant pour V la vitesse la plus générale pour chaque orifice. Ordinairement la vanne ne peut que plonger, et les orifices inférieurs ne peuvent s'ouvrir qu'après ceux du haut; mais en disposant la vanne de manière qu'on puisse l'élever et l'abaisser à volonté au-dessus et au-dessous des orifices, et en plaçant les orifices supérieurs pour les plus grandes eaux et les orifices infé-

rieurs pour les plus basses, on diminuera considérablement les irrégularités de la vitesse d'arrivée de l'eau sur la roue.

Dans les constructions moins soignées, tous les orifices du vannage précédent sont remplacés par un seul dont les parois sont en bois, et devant encore produire un débit convenable pendant les plus basses eaux.

Position des roues à augets par rapport au niveau d'aval. Les roues recevant l'eau en dessus, tournant en sens contraire du mouvement de l'eau dans le canal de fuite, ne doivent jamais être établies au-dessous du niveau supérieur de l'eau dans ce canal. Au contraire, les roues recevant l'eau en dessous du sommet, marchant dans le sens de l'eau dans le canal d'aval, peuvent, sans inconvénient, être noyées de la 1/2 hauteur de la couronne; et elles le seront même avec avantage, si elles sont emboîtées d'un coursier circulaire qui empêche le déversement de l'eau. Cette propriété des roues à augets recevant l'eau de côté, de permettre au niveau d'eau d'aval de varier dans des limites assez étendues, sans que l'effet utile soit sensiblement altéré, les rend très-souvent préférables aux roues recevant l'eau en dessus.

Quand les roues sont noyées, il convient de garnir le fond de chaque auget d'une soupape qui s'ouvre quand ce fond arrive dans sa position verticale inférieure, et permet à l'air d'entrer dans l'auget quand l'eau en sort. Quelquefois le fond de chaque auget est garni, suivant qu'il est plus ou moins long, d'un, deux ou trois trous de 0^m,04 de diamètre; ces trous produisent le même effet que la soupape dont il vient d'être question; mais ils donnent lieu à une perte d'eau.

134. *Roues se mouvant dans un courant à grande section, dites roues pendantes.* L'équilibre dynamique est, pour une seconde,

$$T_m = K \frac{1000SV(V-v)v}{g}$$

T_m travail moteur que peut transmettre l'arbre de la roue;

k coefficient, qui est égal à 0,84 environ d'après les expériences de Bossut, et à 0,80 d'après les observations de M. Poncelet sur les roues des moulins sur bateaux, établis sur le Rhône, à Lyon;

S section de la partie plongée de la couronne ou surface de la partie plongée de l'aube placée sur le rayon vertical de la roue, mesurée suivant ce rayon;

V vitesse à la surface du courant, au point où se trouve la roue; on peut la considérer comme étant la vitesse moyenne de tous les filets qui rencontrent l'aube, à leur arrivée sur cette aube;

v vitesse du centre de gravité de la partie plongée de l'aube;

1000SV poids d'eau qui afflue sur la partie plongée de la couronne par seconde;

$V - v$ vitesse relative d'arrivée de l'eau contre les aubes.

Pour des valeurs déterminées de S et de V , T_m sera maximum, quand on aura $v = \frac{1}{2} V$ (mêmes considérations que n° 130, p. 129).

En pratique, on a été conduit à faire $v = 0,4 V$, ce qui, théoriquement, diminue T_m de $\frac{1}{25}$ environ.

Faisant, dans la formule précédente, $K = 0,80$, $v = 0,4 V$ et $g = 9,8088$, on a sensiblement,

$$T_m = 20SV^3.$$

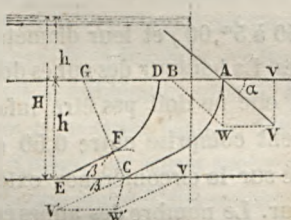
La longueur des roues varie de 2^m,50 à 5^m,00, et leur diamètre extérieur ne dépasse guère 4 ou 5 mètres. La hauteur des aubes doit être de 1/5 à 1/4 du rayon de la roue; elle ne doit pas être inférieure à 0^m,33, et elle est ordinairement comprise entre 0,50 et 0^m,80. L'écartement des aubes, mesuré sur la circonférence extérieure de la roue, est égal à leur hauteur. Le nombre des aubes est ordinairement égal à 12; mais on pense qu'il y aurait avantage à le porter à 18 et même à 24. Les aubes doivent être complètement noyées, mais pas de plus de 0^m,05 au-dessus de leur arête intérieure; cependant, quand la profondeur du courant est considérable, on augmente quelquefois cette hauteur d'immersion: ainsi, pour les moulins du Rhône, elle va jusqu'à 0^m,50. Des couronnes, ou simplement des rebords de 0^m,05 à 0^m,10 de saillie sur les extrémités des aubes, produisent un bon effet. M. Navier conseille d'incliner les aubes sur le rayon, du côté d'amont, sous un angle de 30° quand la roue plonge de 1/4 à 1/5 de son rayon, et de 15°, quand elle plonge de 1,3 de son rayon, degré maximum d'immersion.

135. *Turbines versant l'eau en dessous*, de M. Burdin. Abstraction faite des pertes d'eau, et des frottements de l'eau et des pivots, l'effet utile rendu par ces roues serait maximum, si l'eau entrait dans la roue sans choc, et en sortait en ne conservant aucune vitesse absolue.

Soit, fig. 17 :

- V la vitesse de l'eau à son arrivée sur la roue; représentée en grandeur et en direction par AV;
 v la vitesse de la roue au point A milieu de la longueur des aubes, représentée en grandeur et en direction par Av;
 W la vitesse relative d'arrivée de l'eau contre l'aube; elle est égale à la résultante AW de la vitesse V, et de la vitesse AB qui est égale à v prise en sens contraire; et sa direction est celle que l'on doit donner à l'élément supérieur de l'aube;
 V' la vitesse relative de l'eau au point c bas de l'aube, par rapport à cette aube; elle est représentée en grandeur et en direction par CV' dirigée suivant le dernier élément de l'aube;
 W' la vitesse absolue que conserve l'eau à sa sortie de l'aube; elle est égale à la résultante CW' de la vitesse V' et de la vitesse v;
 α l'angle que fait la direction AV du filet moyen avec l'horizontale;
 β l'angle que fait la direction du dernier élément de l'aube avec l'horizontale.

Fig. 17.



On a

$$W^2 = V^2 + v^2 - 2Vv \cos \alpha.$$

Pour qu'il n'y ait pas choc à l'entrée de l'eau dans la roue, l'élément supérieur de l'aube doit être dirigé suivant la direction de la vitesse relative W; et pour le cas où cette vitesse est verticale, direction qu'il convient en pratique de donner à l'élément supérieur de l'aube, on a

$$v = V \cos \alpha, \text{ et } W^2 = V^2 - v^2 = V^2 (1 - \cos^2 \alpha).$$

Pour que l'eau ne conserve pas de vitesse absolue à sa sortie de la roue, il faut que l'on ait

$$W'^2 = V'^2 + v^2 - 2V'v \cos \beta = 0.$$

Ce qui ne peut avoir lieu qu'autant que l'on a $\beta = 0$, c'est-à-dire, $\cos \beta = 1$ et $V' = v$; il faudrait donc diriger horizontalement l'élément inférieur de l'aube.

Si ces conditions d'entrée et de sortie de l'eau pouvaient être rigoureusement remplies en pratique pour tous les filets fluides, l'effet utile rendu par la roue serait égal à l'effet dépensé, et on aurait

$$T_m = P(h+h') = PH.$$

- T_m travail moteur transmis par l'arbre de la roue;
 P poids d'eau dépensé;
 h hauteur du niveau de l'eau d'amont, au-dessus de la surface supérieure de la roue;
 h' hauteur verticale de la roue; il parait suffisant, de faire h' égale à 0^m,20 ou 0^m,25;
 H = h + h' chute totale; la roue ne doit pas être noyée.

En négligeant les frottements de l'eau contre la roue, on a

$$V^2 = W^2 + 2gh'.$$

Faisant dans cette formule

$$V' = v = V \cos \alpha, \text{ et } W^2 = V^2 (1 - \cos^2 \alpha);$$

elle devient, en remplaçant V^2 par $2gh$,

$$2gh \cos^2 \alpha = 2g(h+h') - 2gh \cos^2 \alpha,$$

d'où l'on tire

$$\cos^2 \alpha = \frac{H}{2h}.$$

On a $v = V \cos \alpha$, et par suite $\cos^2 \alpha = \frac{v^2}{V^2} = \frac{v^2}{2gh}$;

On a donc

$$\frac{v^2}{2gh} = \frac{H}{2h}, \text{ ou } v^2 = gH.$$

Désignant par U la vitesse due à la hauteur H, on a

$$U^2 = 2gH = 2v^2,$$

d'où l'on tire

$$v = \frac{U}{\sqrt{2}} = 0,707U.$$

La vitesse de la roue, correspondant au maximum d'effet, doit donc être les 0,707 de la vitesse due à la hauteur de chute totale. En pratique, par analogie avec les turbines Fourneyron, on peut conclure que la vitesse de rotation doit être moyennement les 0,665 de U.

Nous avons vu plus haut, que, théoriquement, l'effet utile maximum est

$$T_m = PH;$$

mais, en pratique, il y a toujours, à cause de l'épaisseur de la veine fluide, choc de l'eau contre les aubes, quelle que soit du reste la forme de ces aubes; de plus, il faut éviter de faire la partie inférieure de l'aube horizontale; car l'eau, en la quittant, serait frappée par l'aube suivante, et produirait une perte de travail considérable: ainsi la vitesse absolue de l'eau n'est jamais nulle au sortir de la roue. Il y a donc perte de travail par le choc de l'eau, et par la vitesse qu'elle conserve, et on a toujours $T_m < PH$.

Une turbine de ce genre, construite à Saint-Étienne, par M. Bundin, a donné T_m compris entre les 0,68 et 0,70 de PH. La valeur de h' , c'est-à-dire la hauteur verticale des aubes, était 0^m,40.

L'aube est engendrée par une droite qui se meut en restant horizontale, et en s'appuyant sur l'axe de la roue et sur une courbe continue DE, *fig. 17*, tracée sur un cylindre vertical dont le rayon est le rayon moyen de la roue. Cette courbe est verticale au point supérieur D, et tangente à la partie inférieure à une droite EF faisant avec l'horizontale un angle de 20 à 25°. Pour tracer cette courbe, par le point E on mène une droite EF faisant avec l'horizontale un angle de 20 à 25°; on prolonge cette droite jusqu'à son point de contact avec la circonférence décrite, du point inférieur C de l'aube précédente, comme centre, avec un rayon CF égal à la plus courte distance de deux aubes successives; on prolonge le rayon CF, passant par le point de contact, jusqu'au point G où il rencontre la surface supérieure de la roue; du point G comme centre, avec un rayon égal, à GF, on décrit l'arc de cercle FD, et la ligne DFE est la directrice de l'aube.

La distance des aubes, mesurée sur la circonférence moyenne de la roue, paraît devoir être comprise entre 0^m,11 et 0^m,15; et la distance des directrices du distributeur entre 0^m,16 et 0^m,17. Ces directrices sont dirigées suivant AV.

Il paraît convenable de faire le rayon intérieur R' de la roue, égal aux 0^m,65 ou 0^m,70 du rayon extérieur R: on a le rayon

$$\text{moyen } r = \frac{R + R'}{2}$$

Le volume d'eau à dépenser doit pouvoir passer librement par les orifices laissés entre les aubes; comme, d'après le mode de génération des aubes, indiqué plus haut, la plus courte distance de deux aubes consécutives est, sensiblement, $d \sin \beta$, d étant la distance de ces aubes mesurée sur la circonférence moyenne; si l est la différence des deux rayons de la roue, l'ouverture laissée entre deux aubes consécutives est à peu près $ld \sin \beta$, et on a

$$Q = K l n d \sin \beta V''.$$

- Q volume d'eau dépensé par seconde;
 K coefficient de la dépense, qui, d'après les observations de M. Morin sur les orifices évasés des turbines de M. Fourneyron, est compris entre 0,80 et 0,86.
 n nombre d'aubes;
 V'' vitesse de l'eau dans la plus petite section de l'orifice laissé entre deux aubes consécutives; on peut supposer $V'' = V$.

L'espace occupé par les aubes et les assemblages étant à peu près le 1/25 de la surface de la roue, on a

$$n d = 2\pi r - 0,04 \times 2\pi r = 0,96 \times 2\pi r;$$

et par suite, en supposant que l'eau arrive à plein orifice à la partie supérieure de la roue,

$$Q = K l 1,92 \pi r V''.$$

On a

$$r = \frac{R + R'}{2} = \frac{R + 0,68R}{2} = \frac{1,68R}{2} = 0,84R.$$

d'où l'on tire

$$R = \frac{r}{0,84} = 1,19r;$$

et on conclut

$$R' = 0,68 \times 1,19r = 0,81r,$$

et

$$l = 0,38r.$$

Il faut non-seulement que les orifices de la roue puissent dépenser l'eau fournie par le cours d'eau; mais aussi que les orifices distributeurs puissent l'introduire dans la roue. En négligeant le jeu d'environ 0^m,02 laissé entre le dessus de la roue et le bas de ces

distributeurs, la vitesse, dans ces orifices, est celle V due à h ; et en procédant comme pour la partie inférieure de la roue, on a

$$Q = Kl'V(2nr - a) \sin \alpha.$$

- a espace occupé par les vannes distributrices et par leurs sièges, ou pivots si elles sont à charnière;
 l' dimension des orifices distributeurs suivant le rayon; c'est aussi celle des orifices formés par les aubes, à leur partie supérieure.

136. *Turbines versant l'eau latéralement*, de M. Fourneyron. Ces turbines sont complètement noyées. L'eau s'y meut horizontalement, d'où il résulte que la pesanteur ne modifie en rien, ni le travail, ni la vitesse de l'eau pendant que cette eau est dans la roue, ce qui n'a pas lieu pour les turbines versant l'eau en dessous. L'effet de la force centrifuge est nul quand l'eau se meut verticalement; mais il ne l'est pas, dans ce cas, où elle se meut horizontalement.

Comme pour les turbines versant l'eau en dessous, abstraction faite des pertes d'eau, et des frottements de l'eau et des pivots, l'effet utile serait maximum, si l'eau entrait sans choc dans la roue, et en sortait en ne conservant aucune vitesse absolue.

Soit, *fig. 18*:

- V la vitesse avec laquelle l'eau arrive au point A , représentée en grandeur et en direction par la ligne AV qui est dirigée suivant la tangente à la courbe directrice EA ;
 v la vitesse de la roue au point A origine de l'aube, représentée en grandeur et en direction par Av qui est tangente à la circonférence intérieure de la roue au point A ;
 W la vitesse relative d'arrivée de l'eau sur le point A de l'aube; elle est représentée en grandeur et en direction par la résultante AW des deux vitesses V et v , cette dernière étant prise de A en B , c'est-à-dire, en sens contraire du mouvement de la roue. La direction AW est celle que l'on doit donner au premier élément de l'aube;
 V' la vitesse relative de l'eau au point C extrémité de l'aube, par rapport à cette aube; elle est représentée en grandeur et en direction par la droite CV' dirigée suivant le dernier élément de l'aube;
 v' la vitesse de la roue au point C extrémité de l'aube; elle est représentée en grandeur et en direction par la droite Cv' tangente à la circonférence extérieure de la roue;
 W' la vitesse absolue de l'eau à sa sortie de la roue; elle est représentée en grandeur et en direction par la résultante CW' des deux vitesses V' et v' ;
 α l'angle que font entre elles les directions des deux vitesses V et v ;
 β l'angle que fait la direction de la vitesse V' avec la tangente à la circonférence extérieure de la roue au point C ;

H la chute totale ou la différence de niveau de l'eau en amont et en aval de la roue;

$U = \sqrt{2gH}$ la vitesse due à la chute H ;

P le poids d'eau dépensé par seconde en kilogrammes;

Q le volume d'eau dépensé par seconde en mètres cubes;

r le rayon intérieur de la roue;

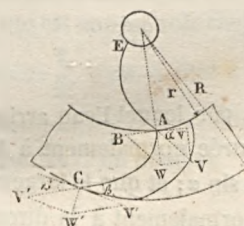
R le rayon extérieur de la roue;

l la hauteur de la roue, ou mieux la dimension verticale des orifices laissés entre les aubes;

a la distance de deux aubes successives, mesurée sur la circonférence intérieure de la roue;

a' la distance des deux aubes successives, mesurée sur la circonférence extérieure de la roue.

Fig. 18.



On a

$$W^2 = V^2 + v^2 - 2Vv \cos \alpha. \quad (a)$$

Pour le cas où la vitesse W est dirigée suivant le rayon de la roue, direction qu'en pratique il convient de donner au premier élément de l'aube,

on a $v = V \cos \alpha$, et par suite $W^2 = V^2 - v^2$.

Pour que la vitesse absolue W' soit nulle, on doit avoir

$$W'^2 = V'^2 + v'^2 - 2V'v' \cos \beta = 0. \quad (b)$$

Ce qui ne peut avoir lieu qu'autant que l'on a $\beta = 0$, c'est-à-dire, $\cos \beta = 1$ et $V' = v'$, ce qui conduirait à faire l'aube tangente à la circonférence extérieure; mais, outre qu'en pratique, la vitesse W' ne peut être nulle puisqu'elle doit satisfaire au débit, il convient de ne pas faire l'aube tangente à la circonférence extérieure de la roue, car cette aube tendrait à projeter l'eau sur l'aube suivante, ce qui produirait des réactions considérables.

M. Bélanger, en supposant la levée de la vanne égale à la hauteur des aubes, d'où il résulte que l'eau remplit complètement les canaux formés par ces aubes; et en négligeant les frottements et les actions mutuelles de l'eau, les frottements des pivots et l'influence du jeu laissé entre le vannage et la roue; mais, en tenant compte de la force centrifuge, a posé la formule

$$V^2 + v^2 - W^2 = 2gH = U^2; \quad (c)$$

dans laquelle remplaçant W^2 par sa valeur (a), on a

$$Vv \cos \alpha = gH = \frac{U^2}{2}; \quad (d)$$

d'où l'on conclut, pour le cas où $v = V \cos \alpha$,

$$v^2 = gH = \frac{U^2}{2}, \text{ et } v = \frac{U}{\sqrt{2}} = 0,707U. \quad (e)$$

Comme l'on a

$$v:v':r:R, \text{ d'où } v = v' \frac{r}{R}, \text{ et } v' = v \frac{R}{r}, \quad (f)$$

on a donc

$$v' = 0,707U \frac{R}{r}.$$

Remarquant que la largeur de l'orifice par lequel l'eau arrive dans le canal laissé entre deux aubes, mesurée normalement à la direction de la vitesse V , est sensiblement $a \sin \alpha$; et que la largeur de ce canal à l'orifice de sortie, mesurée normalement à la direction de vitesse V' , est sensiblement $a' \sin \beta$; comme la quantité d'eau qui entre dans le canal est égale à celle qui en sort, on a

$$V a \sin \alpha = V' a' \sin \beta,$$

ou, en remarquant que les arcs a et a' sont entre eux comme les rayons r et R ,

$$V r \sin \alpha = V' R \sin \beta, \text{ d'où } V = V' \frac{R}{r} \times \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}.$$

Et comme, pour le maximum d'effet, on peut supposer, eu égard à la petitesse de l'angle β , $V' = v'$, on a

$$V = v' \frac{R}{r} \times \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}. \quad (g)$$

Remplaçant dans la formule (d), v par sa valeur (f), et V par sa valeur (g), on en conclut

$$v^2 = gH \frac{\tan \alpha}{\sin \beta}. \quad (A)$$

Comme on a (formule e) $v^2 = gH$, on a donc

$$\frac{v^2}{v^2} = \frac{R^2}{r^2} = \frac{\tan \alpha}{\sin \beta}. \quad (B)$$

La formule (g) donne, en élevant au carré, et en remplaçant v^2 et $\frac{R^2}{r^2}$ par leurs valeurs (A) et (B),

$$V^2 = gH \frac{1}{\cos^2 \alpha}.$$

Ce qui fait voir que l'on aura $V^2 = 2gH$, c'est-à-dire que la vitesse due à H ne sera pas modifiée à l'entrée de l'eau dans la roue, ce qui est convenable sous le rapport de l'effet utile, lorsqu'on aura $\cos^2 \alpha = \frac{1}{2}$, c'est-à-dire $\alpha = 45^\circ$.

Remplaçant dans la formule (b), V^2 et v^2 par leur valeur commune (A), on conclut

$$W^2 = 2gH \frac{\tan \alpha (1 - \cos \beta)}{\sin \beta}. \quad (h)$$

La perte de travail, due à la vitesse que conserve l'eau, est alors

$$\frac{P}{2g} W^2 = PH \frac{\tan \alpha (1 - \cos \beta)}{\sin \beta}.$$

Et l'effet utile rendu par la roue est

$$T_m = PH \left(1 - \frac{\tan \alpha (1 - \cos \beta)}{\sin \beta} \right). \quad (C)$$

Nous avons vu plus haut, que la section de chaque canal formé entre deux aubes successives, était, à l'orifice de sortie, $la \sin \beta$; la somme de toutes les sections de sortie sera alors, en supposant que la toile des aubes occupe les 0,04 de la circonférence extérieure,

$$0,96 \times 2\pi R l \sin \beta.$$

Comme, d'après M. Fourneyron, cette somme doit être égale au $1/4$ de la surface du cercle intérieur de la roue, on a donc

$$\frac{1}{4} \pi r^2 \text{ ou } \frac{1}{4} \pi R^2 \frac{\sin \beta}{\tan \alpha} = 0,96 \times 2\pi R l \sin \beta,$$

d'où l'on tire

$$l = 0,13R \frac{1}{\tan \alpha}. \quad (D)$$

Comme on a

$$Q = 0,96 \times 2\pi R l \sin \beta \times KV',$$

on en conclut, en faisant le coefficient de la dépense $K = 0,80$ et en remplaçant l par sa valeur (D),

$$R = \sqrt{\frac{Q \tan \alpha}{0,628V' \sin \beta}}. \quad (E)$$

Quand $\alpha = 45^\circ$, on a $\tan \alpha = 1$, et les formules (A), (B), (h), (C), (D) et (E), deviennent respectivement (A'), (B'), (h'), (C'), (D') et (E').

$$v'^2 = gH \frac{1}{\sin \beta}, \quad (A')$$

$$\frac{v'^2}{v^2} = \frac{R^2}{r^2} = \frac{1}{\sin \beta}, \quad (B')$$

$$W^2 = 2gH \frac{(1 - \cos \beta)}{\sin \beta}, \quad (h')$$

$$T_m = PH \left(1 - \frac{(1 - \cos \beta)}{\sin \beta} \right), \quad (C')$$

$$l = 0,13R, \quad (D')$$

$$R = \sqrt{\frac{Q}{0,628V' \sin \beta}}. \quad (E')$$

Application. Il s'agit d'appliquer une turbine à un cours d'eau dont le débit est de $1^{\text{m. cu.}}, 50$ par seconde, et la chute de $4^{\text{m.}}, 00$.

Supposant $\alpha = 40' 30''$ et $\beta = 25^\circ$, on a $\tan \alpha = 0,8541$, $\sin \beta = 0,4226$, $\cos \beta = 0,9063$, $U = \sqrt{2gH} = 8^{\text{m.}}, 86$. Remplaçant les lettres par leurs valeurs, dans les formules (A), (E), (B), (D), (C), on a successivement

$$v' = V' = \sqrt{9,8088 \times 4 \frac{0,8541}{0,4226}} = 8^{\text{m.}}, 9, \quad (A)$$

$$R = \sqrt{\frac{1,50 \times 0,8541}{0,628 \times 8,9 \times 0,4226}} = 0^{\text{m.}}, 737, \quad (E)$$

$$r = R \sqrt{\frac{0,4226}{0,8541}} = 0,703R = 0^{\text{m.}}, 518, \quad (B)$$

$$l = \frac{0,13 \times 0,737}{0,8541} = 0^{\text{m.}}, 112, \quad (D)$$

$$T_m = PH \left(1 - \frac{0,8541 (1 - 0,9063)}{0,4226} \right) = PH (1 - 0,19), =$$

$$= 0,81PH = \frac{0,81 \times 1500 \times 4}{75} = 64,8 \text{ chevaux-vapeur. } (C)$$

N étant le nombre de tours de la turbine par minute, on a

$$N = \frac{v' \times 60}{2\pi R} = \frac{8,9 \times 60}{2 \times 3,14 \times 0,737} = 115,33.$$

Il convient de vérifier si les orifices distributeurs peuvent débiter $1^{\text{m. cu.}}, 50$ par seconde. La formule (g) donne

$$V = 8,9 \frac{0,737}{0,518} \frac{0,4226}{0,6494} = 8^{\text{m.}}, 24;$$

et comme la somme des orifices d'entrée de l'eau dans la roue est, en supposant que les aubes, normales à la circonférence intérieure de la roue, interceptent encore environ $0^{\text{m.}}, 01$ de cette circonférence,

$$0,96 \times 2\pi r l \sin \alpha,$$

la dépense par ces orifices est, pour une seconde,

$$0,96 \times 2\pi r l \sin \alpha \times KV = 0,96 \times 2 \times 3,14 \times 0,518 \times 0,112 \times 0,6494 \times 0,80 \times 8,24$$

$$= 1^{\text{m. cu.}}, 497, \text{ sensiblement } 1^{\text{m. cu.}}, 500.$$

Résultats pratiques. La formule (C) de l'application donne l'effet utile $T_m = 0,81PH$; mais des expériences faites en 1838 par M. Morin, ont donné au maximum $T_m = 0,69PH$ pour une turbine, et $T_m = 0,79PH$ pour une autre: on peut admettre que l'on

a, en moyenne, $T_m = 0,70PH$ quand la levée de la vanne est égale ou à peu près égale à la hauteur des aubes.

Le rapport de l'effet utile d'une turbine à l'effet total dépensé, diminue à mesure que la vanne s'abaisse au-dessous du point supérieur des aubes; c'est ce que confirme le tableau suivant des résultats obtenus par M. Morin, sur une turbine de deux mètres de diamètre.

LEVÉE de la vanne.	HAUTEUR de chute.	DÉPENSE par seconde.	NOMBRE de tours par minute.	RAPPORT de T_m à PH .
m. 0.27	m. 3.39	m.cub. 2.44	61.50	0.793
0.20	3.34	1.87	58.00	0.700
0.15	3.04	1.57	58.25	0.696
0.09	3.21	1.07	61.60	0.392
0.05	3.58	0.62	60.00	0.238

M. Fourneyron a cherché à diminuer l'inconvénient des faibles levées de vanne, en séparant la hauteur totale de la roue par des cloisons horizontales en tôle.

L'application précédente donne

$$\frac{v'}{U} = \frac{8,90}{8,86} = 1,0045, \text{ c'est-à-dire } v' = 1,0045 \sqrt{2gH}.$$

Dans l'une des expériences de M. Morin, la valeur de v' correspondant au maximum d'effet, a été $0,81 \sqrt{2gH}$, et dans l'autre $0,80 \sqrt{2gH}$.

On a

$$v = v' \frac{r}{R} = \frac{0,518}{0,737} 1,0045 \sqrt{2gH} = 0,707 \sqrt{2gH};$$

ce que nous a déjà donné la formule (c). En pratique, la valeur de v , correspondant au maximum d'effet, varie de $0,65 \sqrt{2gH}$ à $0,69 \sqrt{2gH}$; ainsi l'on peut dire que la pratique confirme la théorie. La petitesse de la valeur pratique de la vitesse extérieure v de

la roue, par rapport à sa valeur théorique, est due à ce que le rapport $\frac{r}{R}$ est plus grand que ne l'indique la théorie : ainsi il atteint quelquefois 0,83, au lieu que l'application précédente donne 0,703. Du reste, M. Fourneyron emploie cette dernière valeur, quand le rayon intérieur de la roue est petit.

Il paraît que l'effet utile maximum n'est pas sensiblement altéré, quand, pour des chutes de 2 à 8 mètres, on augmente de $\frac{1}{10}$, ou qu'on diminue de $\frac{1}{5}$, la valeur de v qui lui correspond.

L'écartement des aubes, suivant la circonférence intérieure de la roue, se prend à peu près égal à la hauteur l de ces aubes.

L'angle β , que font les aubes avec la circonférence extérieure de la roue, peut varier de 20° à 25° .

L'angle α , que font les directrices qui amènent l'eau sur les aubes, avec la circonférence intérieure de la roue, varie de 45° à 36° .

Le nombre des courbes directrices est moitié de celui des aubes quand ce dernier, qui est toujours pair, varie de 18 à 24, et le $\frac{1}{3}$ quand le nombre des aubes dépasse 24. Outre ces courbes directrices, on en place quelquefois d'autres qui ne s'étendent que de la circonférence intérieure de la roue jusqu'à moitié du rayon de cette circonférence.

Fig. 19.



Pour tracer les aubes, on divise la circonférence extérieure de la roue, *fig. 19*, en autant de parties égales qu'il y a d'aubes; des points de division A, B..., avec un rayon égal à $a \sin \beta$, on décrit des arcs de cercle; aux points A et B, on mène les droites AC, BD faisant avec les tangentes AE, BF, des angles égaux à l'angle β ; on mène le rayon BG perpendiculaire à BD, et du point H pris sur BG prolongé, on décrit l'arc de cercle GI tangent à l'arc de rayon BG, et normal à la circonférence intérieure de la roue au point I. Le point H se détermine en menant par les différents points de GH des tangentes à la circonférence intérieure de la roue, et celui de ces points qui donne $HI = HG$ est le centre de l'arc GI. Raccordant ensuite l'arc

IG avec l'arc de rayon BG et la droite AC, on obtient la courbe IGA qui est la section horizontale de l'aube. On trace de même toutes les aubes; mais on facilite cette opération en remarquant que toutes les droites analogues à BH sont tangentes à une même circonférence décrite du centre O de la roue, avec un rayon égal à la perpendiculaire OK abaissée sur le prolongement de BH; et en remarquant aussi, que toutes les droites analogues à AC et BD sont tangentes à la circonférence décrite avec la perpendiculaire OD pour rayon. Tous les points analogues à H se trouvent sur une même circonférence dont le centre est celui de la roue.

Pour tracer les courbes directrices, on mène, *fig. 19*, la droite IM faisant l'angle α avec la tangente III à la circonférence intérieure de la roue; on mène ensuite la droite OM faisant l'angle $\text{IOM} = \text{OIM}$; on prend IN égal au rayon extérieur OP du tube qui enveloppe l'arbre de la roue; on élève les perpendiculaires PS, NS, et de leur point de rencontre S, avec le rayon SP = SN, on décrit l'arc de cercle PN qui forme avec la partie droite NI la coupe horizontale de la directrice.

MACHINES A ÉLEVER L'EAU.

137. *Machines à colonne d'eau.* Ces machines, employées en plusieurs endroits pour les épaissements des mines, peuvent être à double effet; mais elles sont ordinairement à simple effet, c'est-à-dire que la colonne d'eau n'agit que sur une des faces du piston. Elles communiquent le mouvement à des pompes, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un balancier dont les bras sont inégaux, afin de diminuer la course des pistons des pompes.

L'effet utile rendu par ces machines, c'est-à-dire le produit du poids d'eau élevé par la hauteur d'élévation, peut être exprimé par

KPH.

- P poids d'eau dépensé;
 H hauteur de chute;
 PH effet total dépensé;
 K coefficient qui provient du frottement de l'eau dans les tuyaux et le corps de la pompe, et de celui des pistons et autres organes de la machine; des chan-

gements de direction et de vitesse de l'eau; de la vitesse que conserve l'au motrice en sortant du tuyau d'évacuation, et de celle que conserve l'eau élevée en sortant du tuyau ascensionnel; etc.

Les anciennes machines, dites de Hœll, employées aux épaissements des mines de Hongrie, ont donné les résultats du tableau suivant que nous extrayons du *Traité des machines* de M. Hachette.

HAUTEUR des sources.	DIAMÈTRES des pistons.	EAU dépensé en 24 heures.	HAUTEUR d'élévation de l'eau.	EAU élevée en 24 heures.	RAPPORT de l'effet utile à l'effet dépensé.
m.	m.	m cub.	m.	m cub.	
85.757	0.352	1900.328	89.656	817.036	0.45
89.656	0.325	2467.965	214.290	479.879	0.46
79.910	<i>Id.</i>	685.550	46.777	394.185	0.33
79.910	<i>Id.</i>	582.711	28.585	589.566	0.36
89.656	<i>Id.</i>	2467.965	66.267	1336.815	0.40

Le diamètre du tuyau de chute de la première machine de ce tableau est de 0^m,162; la course du piston est de 1^m,95, et il s'élève et s'abaisse environ sept fois par minute.

Dans les machines établies plus récemment dans les mines de Hongrie, du Hartz, etc., l'effet utile est plus considérable que ne l'indique le tableau précédent; et il paraîtrait, que des machines établies à Freyberg, en Saxe, ont donné un effet utile égal à 0,70 PH, et même 0,75 PH quand les pompes mues par les machines travaillaient avec toute l'eau qu'elles pouvaient contenir.

On est porté à supposer que les deux énormes machines construites à Huelgoat, par M. Juncker, produiront ce dernier effet utile quand elles fonctionneront sous la charge que l'on doit atteindre. Dans ce moment, la quantité d'eau à élever n'étant que de 29,9 litres par seconde pour les deux machines, et la hauteur d'élévation, 179 mètres, l'effet utile n'est que de 0,45 PH. Les dimensions ont été déterminées pour élever 30 litres d'eau par seconde et par machine, à une hauteur de 230 mètres; conditions dans lesquelles on se trouvera, quand les travaux souterrains seront arrivés à la profondeur qu'ils doivent atteindre.

La chute motrice étant de 60 mètres, on présume que la dépense d'eau sera de 160 à 175 litres par seconde pour élever les 30 litres à 230 mètres, d'où il résulterait un effet utile de 0,72 à 0,66 PH. M. Juncker compte sur une dépense de 178 litres d'eau et un effet utile de 0,65 PH.

Ces deux machines, établies à 110 mètres environ au-dessous de la surface du sol, élèveront l'eau d'un seul jet à 230 mètres de hauteur, sans aucun intermédiaire, ni de levier, ni d'engrenage. Le piston soupape, qui permet à l'eau d'arriver sur le piston moteur, est disposé de manière qu'au commencement et à la fin de la course de ce dernier, l'eau n'arrive qu'avec une très-faible vitesse, ce qui évite tout changement de direction brusque et toute secousse : aussi ces énormes machines exécutent-elles leurs grands mouvements sans le moindre bruit.

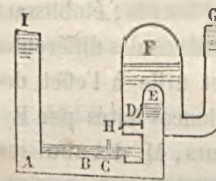
Les cylindres de ces machines sont en fonte et ouverts par le haut ; ils ont 1^m,03 de diamètre et 2^m,75 de hauteur. Le piston est en bronze avec une simple garniture en cuir ; sa course est de 2^m,30 et il en exécute jusqu'à 5,5 par minute. La tige de pompe est fixée directement au piston moteur : elle traverse le fond du cylindre, et descend jusqu'au fond du puits où elle s'adapte directement au piston de la pompe. Afin de faire en partie équilibre au poids de 16,000 kilog. environ de la tige de pompe, on a imaginé de placer le cylindre moteur à 14 mètres au-dessous de la galerie d'écoulement des eaux, ce qui oblige d'élever l'eau, après son action sous le piston moteur, à 14 mètres de hauteur ; c'est la tige qui, en descendant, produit ce travail. Cette disposition porte à 74 mètres la hauteur du tuyau de chute, qui pouvait n'être que de 60 mètres, hauteur de chute motrice. Les tuyaux de chute et d'évacuation ont 0^m,38 de diamètre, le corps de pompe a 0^m,455, et la colonne d'ascension, 0^m,275.

138. *Bélier hydraulique.* Cette machine, fig. 20, imaginée par Montgolfier en 1797, se compose des parties suivantes :

- AB *corps de bélier*, il établit la communication entre le réservoir alimentaire, ou le tuyau de chute AI, et la partie opérante de la machine ;
 C *soupape d'arrêt*, plus dense que l'eau ;
 D *clapet d'ascension*, qui est respectivement fermé ou ouvert, quand la soupape C est ouverte ou fermée ;

- la partie qui porte la soupape C et le clapet D s'appelle *tête du bélier* ;
 E *matelas d'air*, destiné à diminuer les trop fortes secousses de l'eau contre la tête du bélier ;
 F *réservoir d'air*, destiné à rendre régulière l'ascension de l'eau ;
 G *tuyau d'ascension* ;
 H *petit clapet aspirateur* s'ouvrant du dehors au dedans, et destiné à fournir, à chaque coup de bélier, une certaine quantité d'air au matelas E et au réservoir F qui, sans cette précaution, en seraient promptement privés.

Fig. 20.



La soupape C étant abaissée, l'eau tend à s'écouler par l'orifice ouvert, avec une vitesse due à la hauteur de l'eau dans le réservoir alimentaire ; mais cette soupape étant d'un poids convenable, elle est entraînée par le courant, et elle vient s'appliquer sur son siège, de manière à fermer passage à l'eau qui, en vertu de sa vitesse acquise, réagit contre les parois de l'appareil, ouvre le clapet D, pénètre dans le réservoir F, et de là dans le tuyau d'ascension où elle s'élève à un niveau supérieur à celui du réservoir alimentaire. Bientôt la vitesse que possédait l'eau est détruite, le clapet D se referme, la soupape C s'abaisse, et une nouvelle période recommence sans interruption. Dès que l'eau a réagi sur la tête du bélier après la fermeture de la soupape C ; en vertu de l'élasticité du matelas E, et des parois de l'appareil, il se produit un retour d'eau vers la source, qui diminue la pression au point de permettre au clapet H de s'ouvrir et de laisser entrer une certaine quantité d'air dans l'appareil.

Quelquefois la soupape C et le clapet D sont remplacés par des boulets creux dont le poids est double de celui de l'eau qu'ils déplacent. Dans ce cas, afin de ne pas gêner la circulation de l'eau dans l'appareil, on place le boulet d'arrêt sur le prolongement de AB au delà de la position du boulet d'ascension. On a soin, pour diminuer les chocs, de garnir de cuir ou de toile goudronnée les orifices que ces boulets doivent fermer. Un bélier, construit par M. Montgolfier fils, à Mello, auprès de Clermont-sur-Oise, est muni de 7 boulets ou soupapes d'arrêt de 0^m,04 de diamètre, dont les sièges sont sur une même platine en fonte ; le boulet ou clapet d'ascension a aussi 0^m,04 de diamètre. Le corps de bélier est en fonte et pèse 1450 kilogrammes ; la tête du bélier seule pèse 200 kilogrammes. L'épaisseur de

tuyaux est de 0^m,014. La capacité du réservoir à air n'est que de 6 litres. Ce béliet bat 60 coups à la minute. (Consulter le tableau suivant.)

Jusqu'à présent, la théorie n'a pu donner une expression satisfaisante de l'équilibre dynamique de cette machine, dans laquelle il se passe des réactions qu'on ne peut analyser; et la pratique même, n'a donné que des résultats trop discordants pour permettre d'établir une formule générale, d'une exactitude suffisante, établissant les relations qui doivent exister entre les dimensions des différentes parties du béliet, ainsi que le rapport de l'effet utile à l'effet dépensé. Cependant, d'après les résultats d'expériences faites par Eytelwein, sur deux béliets de différentes grandeurs, M. d'Aubuisson a conclu la formule pratique

$$qh = 1.20Q(H - 0.2\sqrt{Hh}).$$

- q poids d'eau élevé;
 h hauteur d'élévation;
 Q poids d'eau dépensé;
 H hauteur de chute.

Dans ses expériences, Eytelwein a reconnu :

- 1° Qu'une grande longueur du corps de béliet était avantageuse à l'effet, que jamais cette longueur ne devait être moindre que les $\frac{3}{4}$ de la hauteur à laquelle on élève l'eau, et que son diamètre est convenablement donné par l'expression $1.7\sqrt{V}$; V étant le volume d'eau dépensé par seconde;
- 2° Que le diamètre du tuyau d'ascension pouvait être moitié de celui du corps de béliet;
- 3° Que le réservoir à air était indispensable, et que sa capacité, qui ne paraissait pas avoir une grande influence sur l'effet, était égale à celle du tuyau d'ascension;
- 4° Que les deux soupapes devaient être très-rapprochées l'une de l'autre, et que celle d'arrêt pouvait être indifféremment placée en amont ou en aval du réservoir à air;
- 5° Qu'il était essentiel que l'ouverture de la soupape d'arrêt ne fut pas moindre que la section du corps de béliet, mais qu'elle pouvait lui être égale ou un peu supérieure;
- 6° Que l'effet serait diminué par le poids du battant s'il excédait une certaine limite.

Quand le plus grand des béliets soumis à l'expérience par Eytelwein, a été reconnu être disposé de la manière la plus avantageuse, le corps du béliet avait 13^m,33 de longueur et 0^m,0567 de diamètre,

et l'aire de la soupape d'arrêt était de 0^mc,0024. La disposition du béliet était celle indiquée fig. 20.

Des expériences d'Eytelwein, il résulte que le rapport de l'effet utile à l'effet dépensé est d'autant plus grand, que la hauteur d'élévation est plus petite par rapport à celle de chute: ainsi pour une chute de 3^m,066, et une hauteur d'élévation de 8^m,017, ce rapport a été de 0,90, valeur plus considérable que pour toute autre machine; au lieu que la chute étant de 0^m,601, et la hauteur d'élévation de 11^m,78, ce rapport n'a plus été que de 0,181.

TABLEAU des proportions de différents béliets, et du rapport de l'effet utile à l'effet dépensé (*).

CORPS DE BÉLIET.		HAUTEUR		DIAMÈTRE de la colonne d'ascension.	EAU dépensée. en l'.	EAU élevée en l'.	RAPPORT de l'effet utile à l'effet dépensé.
Diamètre.	longueur.	de chute.	d'élévat.				
m.	m.	m.	m.	m.	litres.	litres.	
»	»	2.60	16.06	»	68.00	6.24	0.570
0.108	33.00	11.37	59.44	»	140.00	17.50	0.653
0.054	32.50	10.60	34.10	»	84.00	17.00	0.651
0.203	8.00	0.979	4.55	»	1987.00	269.00	0.629
0.027	33.00	7.00	60.00	0.014	12.42	0.97	0.670

139. *Pompes.* Les pompes sont dites à *simple effet*, lorsqu'elles n'élèvent l'eau que pendant la montée ou pendant la descente du piston; et elles sont dites à *double effet*, lorsque l'eau est élevée pendant la montée et pendant la descente du piston.

Lorsque le piston s'élève au-dessus du niveau de l'eau dans le puisard, on dit que la pompe est *aspirante*.

(*) Le premier des béliets de ce tableau est celui que Montgolfier avait établi dans son habitation à Paris;

Le deuxième est celui de Mello, cité plus haut;

Le troisième a été établi à Lyon par M. Fay-Sathonay, ancien maire de Lyon; la longueur du tuyau d'ascension est de 227 mètres;

Le quatrième est construit à la blanchisserie de M. Turquet, près de Senlis;

Le cinquième se trouve près de Clermont-Oise, dans la sous-préfecture de M. Larochefoucault; la longueur du tuyau d'ascension est de 420 mètres.

Une pompe élévatoire est celle qui élève l'eau pendant la montée du piston, et une pompe foulante est celle qui l'élève pendant la descente du piston. Une pompe à double effet est à la fois foulante et élévatoire.

Une pompe peut être aspirante et élévatoire, ou aspirante et foulante, ou encore aspirante, foulante et élévatoire; l'un de ces cas a lieu toutes les fois que le piston s'élève à un niveau supérieur à celui de l'eau dans le puisard, ce qui a lieu généralement.

Le piston n'est quelquefois qu'un simple morceau de bois de charme, qu'il convient de faire bouillir dans l'huile; mais pour les pompes de quelque importance, il est en fonte ou en bronze. La garniture est en cuir, et elle forme sur les faces du piston un godet à contour flexible que l'eau comprimée applique contre les parois du corps de pompe, ce qui donne une garniture *autoclave*.

Quelquefois le piston est un cylindre métallique plein ou creux d'une longueur un peu supérieure à sa course, et d'un diamètre de 0^m,01 à 0^m,02 plus petit que celui du corps de pompe. Ce piston, appelé *plunger* par les anglais, plonge dans le corps de pompe et prend la place de l'eau qui s'y trouve en l'obligeant de s'élever dans le tuyau d'ascension; en se retirant, il laisse un vide qui produit l'aspiration. La garniture de ce piston est fixe, et elle sert de *Stuffenbox*.

Une pompe à simple effet exige l'emploi de deux soupapes, l'une, dite *soupape d'aspiration*, placée sur le tuyau d'aspiration, le plus près possible du point inférieur de la course du piston; l'autre, appelée *soupape de retenue*, placée sur le tuyau d'ascension. L'une de ces soupapes peut être placée sur le piston qui est alors percé d'un orifice convenable au passage de l'eau; la soupape fixe prend le nom de *soupape dormante*. Une pompe à double effet est garnie de quatre soupapes dormantes, le piston n'en porte point.

Afin de pouvoir vérifier facilement l'état des soupapes et en rendre rapide les réparations, il convient de renfler les tuyaux aux points où elles se trouvent; ces renflements, que l'on nomme *châpelles*, portent une grande ouverture que l'on ferme par une plaque de fonte boulonnée.

Si le piston faisait un vide parfait, l'eau s'élèverait dans la colonne d'aspiration à une hauteur de 10^m,3 environ au-dessus du

niveau du puisard, hauteur faisant équilibre à la pression atmosphérique au point où se trouve la pompe; mais, en pratique, quand le piston est au bas de sa course, la pression de l'air qui occupe l'espace compris entre le piston et la soupape d'aspiration, étant, en négligeant le poids de la soupape, égale à la pression atmosphérique; quand le piston est en haut de sa course, la pression de cet air devient

$$H \frac{q}{Q+q}$$

H pression atmosphérique;

q espace nuisible ou volume de l'air lorsque le piston est au bas de sa course;

Q volume engendré par le piston dans une levée;

Q+q volume occupé par l'air lorsque le piston est au haut de sa course.

Pour qu'après un plus ou moins grand nombre de coups de pistons la pompe puisse s'amorcer, c'est-à-dire pour que l'eau puisse entrer dans le corps de pompe, il faut donc que l'on ait au maximum, en désignant par x la hauteur de la soupape d'aspiration au-dessus du puisard, et en négligeant le poids de cette soupape,

$$x = H - H \frac{q}{Q+q} = H \left(1 - \frac{q}{Q+q} \right).$$

Il ne faut pas seulement que l'eau puisse pénétrer dans la partie inférieure du corps de pompe, mais aussi, qu'elle puisse atteindre le point le plus élevé de la course du piston, lequel, en négligeant le poids des soupapes et la force élastique de l'air et de la vapeur que dégage l'eau soumise à une faible pression, peut se trouver à une hauteur $H = 10^m,3$ environ au-dessus du niveau du puisard. En pratique, il est rare que l'eau puisse s'élever à 9^m,00 de hauteur; il convient de considérer 8^m,00 à 8^m,50 comme moyenne d'élévation maxima. La hauteur de la colonne d'aspiration ne se prend guère que de 5, 6 ou 7 mètres.

La vitesse avec laquelle l'eau peut entrer dans le corps de pompe, lorsque le piston occupe un point quelconque de sa course, est, en négligeant le poids des soupapes, leur frottement et celui de l'eau contre le tuyau d'aspiration,

$$v = \sqrt{2g(H-h)}. \quad (a)$$

v vitesse de l'eau dans la soupape d'aspiration;

- H** pression atmosphérique, exprimée en eau que l'on élève ;
h hauteur du point où se trouve le piston au-dessus du niveau du puisard ; cela suppose que l'eau ne dégage ni air ni vapeur, et qu'elle atteint le piston ; s'il n'en était pas ainsi, *h* serait égale à la hauteur du niveau de l'eau dans le corps de pompe, au-dessus du puisard, augmentée de la pression de l'air et de la vapeur qui séparent l'eau du piston.

Pour que le piston fonctionne sans choc, il suffit que l'eau arrive en même temps que lui au point supérieur de sa course. Supposant la vitesse du piston uniforme, il suffira donc que l'on ait

$$Ksv = SV, \text{ d'où } s = \frac{SV}{Kv}$$

- K** coefficient de la dépense ;
s section de la soupape d'aspiration ;
v vitesse de l'eau dans cette soupape, quand son niveau arrive au point supérieur de la course du piston ; *v* a alors sa plus petite valeur (*a*) ;
S section du piston ;
V vitesse du piston.

Si le piston est mû par une manivelle ou par un excentrique, sa vitesse n'est pas uniforme ; dans ce cas, pour s'assurer que le corps de pompe sera plein quand le piston arrivera au haut de sa course, on déterminera d'abord par tâtonnement le point où l'eau peut commencer à ne plus suivre le piston ; pour ce point, on a

$$Ksv = SV.$$

v et *V* ayant les valeurs qui correspondent à ce point ; *v* se détermine par la formule (*a*) ; et *V* est donnée, d'une manière approchée, à l'aide d'une épure représentant le mouvement du piston par rapport à celui du bouton de la manivelle. Pendant que la manivelle termine le reste de sa course, il faut que le volume d'eau qui s'introduit dans le corps de pompe soit égal au volume engendré par le piston pour arriver à la fin de sa course.

Ce volume est (n° 109 formule (*e*))

$$Q' = TKs\sqrt{2g} \left(\sqrt{H_1} - \frac{TKs\sqrt{2g}}{4S} \right).$$

- Q'** volume d'eau qui s'introduit dans le corps de pompe pendant le reste de la course du piston ;

- T** temps que met le piston à terminer sa course ;
H₁ différence de charge sur les deux faces de la soupape d'aspiration, au commencement du temps *T* ; elle est égale à *H* diminuée de la hauteur du point où l'eau commence à ne plus suivre le piston, au-dessus du puisard ;
 — au n° 109, la section *s* de la soupape est représentée par la section *S* de l'orifice d'écoulement, et la section du corps de pompe, par la section *A* du bassin qui se remplit.

Pour que le piston ne choque pas l'eau quand il change de direction, on doit donc avoir, au minimum,

$$Q' = LS.$$

- L** espace qu'il reste à parcourir au piston pour terminer sa course.

En pratique, il convient non-seulement d'atteindre cette limite pour *Q'*, mais aussi, que l'eau accompagne le piston pendant toute sa course ; on devra donc prendre *s* pour le cas où les valeurs, correspondantes entre elles, de *V* et de *v* exigent la valeur maxima de *s*.

Les diamètres des tuyaux d'aspiration et d'ascension sont ordinairement compris entre la 1/2 et les 2/3 de celui du corps de pompe ; il ne convient pas de les prendre de moins de la moitié, et quelquefois ils sont égaux à celui du piston.

Pour une pompe quelconque, on a, théoriquement, pour une seconde,

$$T_m = Ph_1.$$

- T_m** travail moteur transmis à la tige du piston ;
P poids d'eau élevé ;
h₁ hauteur à laquelle on élève l'eau au-dessus du puisard ;
Ph₁ effet utile produit.

En pratique, l'effet utile est diminué par le frottement de la garniture du piston contre les parois du corps de pompe, par celui de la tige du piston dans le stuffenbox, et par celui de l'eau contre les parois des tuyaux et du corps de pompe ; il est diminué aussi par le poids et le frottement des soupapes, par les variations de direction et de vitesse que subit l'eau dans son parcours, et par la vitesse que conserve l'eau à sa sortie du tuyau d'ascension. Avec des pompes bien proportionnées on peut obtenir $Ph_1 =$ de 0,75 à 0,85 T_m ; mais il convient de ne compter que sur 0,75 T_m et même moins.

Langsdorf donne, pour l'expression du frottement de la garniture du piston ,

$$nDH.$$

- D diamètre du piston en mètres ;
 H pression de l'eau sur le piston , exprimée en mètres de hauteur d'eau ;
 n coefficient égal à 7 pour les corps de pompe en laiton bien poli , à 15 pour ceux en fonte simplement forée, à 25 pour ceux en bois assez lisse, et à 50 pour ceux en bois dégradé par l'usage.

Comme on le voit, l'auteur de cette formule admet que le frottement est indépendant de la hauteur de la garniture (41). Ce frottement étant exprimé en kilogrammes, le travail qu'il absorbe en une seconde, est

$$nDHV \text{ kilogrammètres.}$$

Pour des pompes bien construites et en très-bon état d'entretien, le volume d'eau élevé est égal à celui engendré par le piston diminué de 0,03 à 0,04 ; mais pour les pompes ordinaires ce déchet va à 0,1 et même à 0,2. Des pompes, au lieu d'élever un volume d'eau moindre que celui engendré par le piston, ont donné un débit plus grand ; cela tient à ce que l'eau en mouvement continue encore sa marche après l'arrivée du piston à la fin de sa course, ce qui ne peut avoir lieu qu'autant que la vitesse est grande, circonstance qu'il faut éviter.

Pour les épuisements des mines, on a quelquefois à élever l'eau à des hauteurs considérables. Une seule pompe peut le faire d'un seul jet, comme à Huelgoat (137) ; mais les clapets durent très-peu, et il convient qu'une même pompe n'élève l'eau qu'à une hauteur de 30 à 60 mètres ; pour des hauteurs plus considérables, on doit employer plusieurs pompes étagées sur la hauteur du puits.

Pour les pompes mues à bras d'homme, la course du piston est de 0^m,30 environ ; pour celles mues par les machines, elle est ordinairement de 1^m,00 à 1^m,20, quelquefois elle va à 2 mètres, et à Huelgoat elle est de 2^m,30.

La vitesse du piston d'une pompe marchant régulièrement, atteint rarement 0^m,30 ; à Huelgoat, elle est cependant de 0^m,42 ;

mais il convient qu'elle soit comprise entre les limites 0^m,16 et 0^m,24.

Pour les pompes à incendie, les pistons ont ordinairement 0^m,12 de course, et ne s'élèvent, dans les mouvements les plus rapides, que 60 fois par minute, ce qui correspond à 0^m,24 de vitesse. Les pistons, qui sont en bronze, ont environ 0^m,60 de longueur et 0^m,12 de diamètre. Le récipient d'air, que l'on place entre les deux corps de pompe, a ordinairement 0^m,55 de hauteur sur 0^m,25 de diamètre ; il est destiné à rendre constant le jet d'eau. Avec les proportions et la vitesse précédentes, huit pompiers obtiennent un jet de 20 mètres de hauteur.

Pour les grandes pompes, afin de rendre, autant que possible, le mouvement de l'eau constant dans la colonne d'ascension et même dans celle d'aspiration quand elle est longue, il convient de munir chacune d'elles d'un récipient d'air placé à leur partie inférieure ; ces récipients ont encore l'avantage de rendre moins violents les chocs des soupapes.

Quand les eaux tiennent en suspension des corps étrangers, on garnit le bas du tube plongeur, d'une caisse percée de petits trous, appelée *lanterne* ; l'eau arrive dans la colonne d'aspiration en passant par ces petits trous où elle subit une filtration plus ou moins complète.

140. *Presse hydraulique.* La pression théorique que peut transmettre le plateau fixé au grand piston d'une presse hydraulique, est

$$Q = \frac{PLD^2}{ld^3}.$$

- Q pression transmise ;
 P force motrice ; un homme agissant sur un levier sans faire usage du poids de son corps, donne moyennement $P = 25$ kilog., et même $P = 50$ kilog., si le travail n'est que d'un instant ;
 L bras de levier de la puissance P, ou distance du point d'application de cette force à l'axe de rotation de son levier ;
 D diamètre du grand piston ;
 d diamètre du petit piston ;
 l bras de levier de la résistance qu'oppose le piston au mouvement du levier de la puissance P ; cette résistance est égale à la pression de l'eau sur le petit piston, ou encore à $P \frac{l}{L}$.

Supposant $P = 25$ kilog., $L = 1^m,00$, $D = 0^m,20$, $l = 0^m,03$ et $d = 0^m,03$, on a

$$Q = \frac{25 \times 1 \times 0,04}{0,03 \times 0,0009} = 37037 \text{ kil.}$$

Les diverses résistances passives de la machine, surtout le frottement du piston contre sa garniture, font que la pression réelle Q' que l'on peut obtenir en pratique, n'est que les 0,80 de Q pour des efforts modérés, elle atteint les 0,85 de Q pour de grands efforts.

Le rapport de la vitesse du grand piston à celle du petit, est égal au rapport inverse des sections ou des carrés des diamètres de ces pistons; pour l'exemple précédent, ce rapport serait donc

$$\frac{d'}{D'} = \frac{0,0009}{0,04} = \frac{9}{400}.$$

Les pistons sont pleins, et se meuvent dans un stuffenbox ordinaire dont les étoupes ont été remplacées par des rondelles de cuir; la garniture du grand piston a $0^m,04$ de hauteur, et il convient, afin de la rendre bien étanche, de la disposer de manière que, non-seulement la pression du stuffenbox l'applique, en l'élargissant, contre le piston et le renflement du corps de pompe, mais aussi, qu'elle fasse fermeture autoclave.

On se rendrait compte du frottement de la garniture des pistons à l'aide, soit de la formule n° 41, dans laquelle f variera de $1/5$ à $1/6$, soit de celle n° 139.

141. *Chapelet incliné.* Cette machine se compose d'une série de palettes rectangulaires fixées à une chaîne sans fin, et se mouvant de bas en haut dans une auge en bois inclinée. Cette auge plonge dans le puisard, et s'élève jusqu'à la hauteur à laquelle il convient d'élever l'eau.

Le jeu laissé entre les bords latéraux des palettes et les parois de l'auge est de $0^m,006$ environ. Pour une même section de palette, le développement de la partie de son contour en contact avec l'auge est minimum, ainsi que la quantité d'eau qu'elle laisse échapper, quand sa hauteur est moitié de sa longueur; cependant, en pratique, la hauteur est quelquefois les $4/5$ de la longueur. L'écartement des palettes varie de 1 fois à 1 fois $1/2$ leur hauteur, et leur vitesse de $1^m,00$ à $1^m,50$ par seconde.

Un homme exerçant sur une manivelle un effort de 8 kilog.

ave une vitesse de $0^m,75$ par seconde, peut produire, en 8 heures, un effet utile moyen équivalent à 80 ou 90 mètres cubes d'eau élevés à $1^m,00$ de hauteur; mais on ne doit compter, en général, que sur un effet utile égal aux 0,40 du travail dépensé; ce faible rendement fait que cette machine n'est plus employée.

142. *Chapelet vertical.* Cette machine ne diffère de la précédente, qu'en ce que l'auge inclinée est remplacée par un tuyau vertical, appelée *buse*, à section carrée ou cylindrique; les palettes ont la même forme, et elles ont de $0^m,13$ à $0^m,16$ de côté ou de diamètre; leur jeu dans la buse est moins grand que pour les chapelets inclinés, et afin de diminuer encore les pertes d'eau, on rend ce jeu le plus petit possible, en plaçant au bas de la buse un tuyau métallique bien dressé, de la section des palettes et d'une longueur excédant un peu la distance de deux palettes consécutives. Souvent les palettes sont formées d'une rondelle en cuir gras, serrée entre deux plaques de tôle; cette rondelle fait garniture, et rend les pertes d'eau aussi petites que possible.

Le chapelet vertical convient surtout pour les épuisements où il faut élever l'eau à plus de 4 mètres de hauteur; la longueur de la buse est en général comprise entre $4^m,00$ et $6^m,00$.

On emploie de 4 à 8 hommes appliqués à des manivelles de $0^m,40$ de rayon, et faisant de 20 à 30 tours par minute, pour manœuvrer un chapelet. Ces hommes travaillant 8 heures par jour, et par relais de deux heures, produisent chacun un effet utile journalier équivalent à 110 ou 120 mètres cubes d'eau élevés à $1^m,00$. En général, on peut compter que l'effet utile moyen est égal aux 0,65 de l'effet dépensé, et que la quantité d'eau élevée est les $5/6$ de l'eau d'abord puisée.

Les chapelets peuvent être mus, non-seulement par des hommes, mais aussi par des chevaux à l'aide d'un manège, et même par des roues hydrauliques et des machines à vapeur.

143. *Noria.* Cette machine n'est autre chose qu'un chapelet vertical dans lequel la buse et les palettes sont remplacées par des seaux fixés à une chaîne sans fin, et dont la capacité, qui est ordinairement de 7 à 8 litres, va quelquefois à 15 litres.

Dans une noria, afin que les seaux puissent se vider, on est obligé de monter l'eau à un niveau supérieur à celui auquel on

veut l'élever ; de là, il résulte que pour obtenir un travail utile Qh , on est obligé, abstraction faite des différentes résistances passives, de produire un travail,

$$Q(h + h').$$

- Q poids d'eau élevé ;
 h hauteur à laquelle on veut élever l'eau ;
 h' excès de hauteur à laquelle on est obligé d'élever l'eau pour que les seaux versent à un niveau convenable ; sa valeur est ordinairement égale à $0^m,75$; c'est le rayon du cercle circonscrit à l'hexagone qui sert de tambour, augmenté de $0^m,10$ à $0^m,20$.

La valeur de h' restant constante, quelle que soit celle de h , le rapport de l'effet utile au travail dépensé augmentera à mesure que la hauteur h sera plus grande ; c'est du reste ce que confirment les résultats pratiques du tableau suivant, obtenus avec une noria dans laquelle on avait $h' = 0,75$. La machine était mue par de forts ouvriers produisant sur des manivelles, un effort de 9 kilog. avec une vitesse de $0^m,75$ à $0^m,80$ par seconde.

Valoir de h .	Rapport de l'effet utile à l'effet dépensé.
$1^m,00$ à $2^m,00$	0,48
$2^m,50$ à $2^m,60$	0,57
$3^m,00$ à $3^m,30$	0,63
$3^m,60$ à $4^m,00$	0,66

Une bonne noria, établie par M. Abadie, près de Toulouse, a pour tambour une lanterne à 6 fuseaux en fer de $0^m,03$ de diamètre ; ces fuseaux sont espacés de $0^m,45$ et relient deux plateaux en fonte dont l'écartement est de $0^m,43$. L'axe du tambour est en fer, et a $0^m,054$ d'équarrissage. La chaîne a $13^m,72$ de longueur, et elle est formée de 28 chaînons portant chacun un seau, en feuilles de cuivre, de 15 litres de capacité.

La surface du bassin qui reçoit l'eau est à $0^m,07$ au-dessous de l'axe du tambour, et à $5^m,13$ au-dessus du niveau de l'eau dans le puisard. Un cheval ordinaire de jardinier la fait fonctionner, et produit un effet utile équivalent à 118 mètres cubes d'eau élevés à un mètre de hauteur par heure ; admettant, avec M. D'Aubuisson, que, dans ce même temps, le travail produit par un cheval attelé à un manège équivaut à 144 mètres cubes d'eau élevés à un mètre ; l'effet utile est donc les 0,82 du travail dépensé.

D'après M. Navier, une noria manœuvrée par deux chevaux aurait élevé 70,12 mètres cubes d'eau à $3^m,60$ de hauteur, ce qui équivaut à 126 mètres cubes à $1^m,00$ par cheval ; l'effet utile serait donc les 0,88 du travail dépensé. Il convient de ne compter que sur un effet utile égal aux 0,70 ou 0,80 du travail dépensé.

Outre l'effet utile considérable rendu par la noria, elle a encore l'avantage de pouvoir servir à élever les eaux bourbeuses, comme le sont généralement les eaux d'épuisement, ce qui est impossible avec les chapelets.

144. *Roues élévatoires.* Ces roues, qui sont à palettes planes, agissent à la manière des chapelets ; mais en se mouvant dans un coursier circulaire. Nous nous contenterons de donner les dimensions des parties principales de celle qui a été établie pour élever les eaux de la Seine dans la gare de Saint-Ouen.

Diamètre extérieur de la roue	$10^m,672$
Diamètre intérieur	$10^m,672 - 1^m,648$
Longueur des aubes	$1^m,216$
Hauteur des aubes, mesurée suivant ces aubes qui sont un peu inclinées sur le rayon	
	$0^m,90$
Hauteur des aubes, mesurée suivant le rayon	
	$0^m,824$
Nombre d'aubes	
	30

D'après des observations faites par M. Walter de Saint-Ange, cette roue élève 2500 mètres cubes d'eau à $4^m,00$ de hauteur en une heure ; la force de la machine à vapeur étant supposée être de 45 chevaux, le rapport de l'effet utile à l'effet dépensé est 0,82 ; mais il aurait été convenable d'évaluer exactement la force de la machine.

145. *Roues à seaux ou à godets.* Ces roues, employées fréquemment aux irrigations et aux usages domestiques, à cause de leur grande simplicité et de leur peu d'entretien, sont à aubes planes dont un plus ou moins grand nombre portent des coffres fermés aux deux extrémités et garnis, sur une face, d'une ouverture qui permet l'entrée et la sortie de l'eau. Par le mouvement de la roue, les coffres puisent successivement l'eau dans le courant moteur même, et viennent la verser dans une auge placée latéralement vers le sommet de la roue.

A moins de régler convenablement l'ouverture des coffres, ils perdent toujours, à leur sortie du courant, une partie de l'eau

d'abord puisée; de plus, le versement ne s'opère qu'à un niveau supérieur au point auquel on doit élever l'eau. C'est afin d'atténuer, autant que possible, ces causes de pertes d'effet utile, que, dans l'application de ces roues aux grands épuisements, on a remplacé les coffres fixés aux aubes par des seaux ou godets mobiles autour d'un axe placé au-dessus de leur centre de gravité; par cette disposition, les godets ne perdent leur eau qu'au sommet de la roue où un taquet les fait verser.

Comme, pour les épuisements, l'eau élevée n'est pas prise dans le courant moteur, les godets sont montés sur une roue séparée de la roue motrice et formée de deux plateaux suffisamment écartés pour que les godets puissent être suspendus entre eux. Perronet a appliqué, avec beaucoup de succès, une machine semblable aux fondations du pont de Neuilly. Le diamètre de la roue motrice était 5^m,85, la longueur des aubes 6^m,50, la hauteur des aubes 0^m,97 et le diamètre de la roue à godets 5^m,36. La roue à aubes avait été placée en un point fixe où la vitesse du courant était de 0^m,81; et la roue à godets a été successivement portée sur les emplacements des diverses piles, jusqu'à une distance de 35 mètres. La capacité de chacun des seize godets montés sur la roue était de 137 litres; mais la quantité d'eau qui arrivait au point de versement n'était que de 103 litres. La quantité d'eau élevée à 3^m,25 et 3^m,90 de hauteur était de 185 mètres cubes par heure, c'est le même effet utile que celui fourni par douze chapelets verticaux employés au même point.

146. *Tympan*. La machine de ce nom, employée par les anciens, était simplement un tambour en bois divisé en huit ou en un plus grand nombre de compartiments, par des cloisons dirigées suivant le rayon. Chaque compartiment portait, sur le contour du tambour, une ouverture qui permettait à l'eau d'entrer dans le compartiment quand cette ouverture était noyée. Comme cette ouverture était placée sur la partie de la paroi convexe du tambour, qui sortait la première de l'eau, une certaine quantité d'eau se trouvait emprisonnée, et le tambour, en tournant, l'élevait jusqu'à la hauteur de son axe. Des rainures pratiquées suivant la longueur de l'axe et se prolongeant dans un des fonds du tambour, formaient des canaux qui permettaient à l'eau de sortir.

Lafaye, au commencement du siècle dernier, a imaginé de courber les cloisons suivant les développantes du cercle extérieur de l'axe, ce qui a permis de supprimer l'enveloppe convexe du tambour. Par cette disposition, la verticale passant par le centre de gravité de la masse d'eau contenue dans chaque canal courbe, est tangente à l'axe, et quelle que soit la position du tympan, le rayon de son axe est le bras de levier constant de la résistance; d'où il résulte que le travail est aussi régulier que possible. D'après des expériences de Perronet, un de ces tympanes ayant 5^m,85 de diamètre, portant 24 cloisons et plongeant de 0^m,24 dans l'eau, faisait deux tours et demi par minute, et élevait 123 mètres cubes d'eau à 2^m,60 par heure; la machine était mue par douze hommes marchant sur une roue à chevilles montée sur son axe; d'où il résulte un effet utile équivalent à 26,67 mètres cubes d'eau élevés à un mètre de hauteur par heure et par homme; avec un chapelet vertical manœuvré, il est vrai, à l'aide de manivelles (20), cet effet utile n'a été que de 17,40 mètres cubes. Cette machine, qui peut aussi être mue par une roue hydraulique, a l'inconvénient de n'élever l'eau qu'à la hauteur de son axe, ce qui oblige de lui donner des dimensions qui la rendent lourde et embarrassante.

147. *Baquetage à bras*. Des épuisements de peu de durée et qui doivent être faits de suite, s'exécutent quelquefois à l'aide de seaux ou baquets manœuvrés par des hommes placés dans le bassin à mettre à sec. D'après Perronet, un homme n'élève que 68 litres d'eau à un mètre de hauteur par minute, et moitié seulement si la hauteur d'élévation est de 1^m,80; ce qui donne, pour un travail journalier de huit heures, un effet utile moyen de 31 000^{km}; M. Morin donne 46 000^{km} quand l'homme travaille avec un seau léger, 48 000^{km} s'il travaille avec une écope ordinaire, et 120 000^{km} si c'est avec une écope hollandaise.

148. *Seau à bascule*. Lorsqu'on n'a à élever, dit M. d'Aubuisson, qu'une petite quantité d'eau, de 5 à 6 mètres de profondeur, pendant une ou deux heures de la journée, on emploie avec avantage un seau suspendu à une des extrémités d'un grand balancier en bois, à l'autre extrémité duquel on place un poids faisant équilibre à la charge; de cette manière, un homme, selon l'habitude qu'il a de ce genre de travail, produit un effet équivalent à 12 ou

15 et même 20 mètres cubes d'eau élevés à un mètre de hauteur par heure. M. Morin donne seulement, par homme, pour un travail journalier de huit heures, 60 000^{km} quand le puits a de 2 à 3 mètres de profondeur, et 70 000^{km} si cette profondeur est de 4 à 5 mètres.

149. *Seau manœuvré à l'aide d'un treuil.* Lorsque la profondeur du puits est considérable, on fait usage d'une corde à chacune des extrémités de laquelle est fixé un seau, et s'enroulant sur le treuil dont il a été parlé n° 82. M. d'Aubuisson, d'après ses observations et des résultats donnés par Coulomb, admet que, le treuil étant manœuvré par des hommes agissant sur des manivelles, chaque homme produit, dans un travail journalier de huit heures, un effet utile de 160 000^{km}.

Lorsque la corde passe seulement sur une poulie, et qu'elle est directement tirée à mains d'homme, d'après Coulomb, l'effet utile journalier n'est que de 71 000^{km}.

150. *Manège du maraîcher.* Cette machine, qui a la plus grande analogie avec la précédente, se compose d'un tambour fait généralement avec deux vieilles roues de voiture, sur le pourtour desquelles on a fixé des douves de tonneau, allant de l'une à l'autre sans être parallèles à l'axe; par là, on obtient une espèce d'hyperboloïde de révolution, qui empêche la corde de s'échapper, tout en donnant un treuil régulateur (82). Ce tambour est monté sur l'arbre vertical d'un manège que l'on maintient par une charpente qui sert en même temps à fixer, sur le puits, deux poulies sur lesquelles viennent passer les deux brins de la corde.

M. Hachette rapporte, dans son traité des machines, qu'avec un manège de maraîcher établi sur un puits de 32^m,50 de profondeur, un cheval élevait un seau contenant 90 litres d'eau, par minute; d'où il résulte, que, pour huit heures de travail, l'effet utile serait de 1404000^{km}; mais si la durée du travail était de huit heures par jour, cet effet utile serait diminué. (Tableau n° 20).

151. *Vis d'Archimède.* Dans les vis ordinaires employées aux épuisements, on place trois hélices sur le même noyau. Le diamètre extérieur des hélices est égal à trois fois celui du noyau, et varie entre 0^m,325 et 0^m,65. La longueur de la vis varie entre douze et dix-huit fois le diamètre extérieur des hélices, selon qu'il est plus ou moins fort.

Les constructeurs de Paris font ordinairement l'angle de la tan-

gente à l'hélice tracée sur le noyau, avec la génératrice de ce noyau, égal à 60°; les anciens Romains le faisaient de 45°, à Toulouse on le fait de 54° environ, et Eytelwein l'a fait de 78° dans une petite vis de construction soignée, destinée à faire des expériences.

L'inclinaison de l'axe de la vis avec l'horizon peut varier de 30° à 45°, et la vis fonctionne le plus avantageusement, lorsque le niveau de l'eau s'élève un peu au-dessus du centre de la base du noyau, sans immerger complètement cette base.

Résultats obtenus par M. Lamandé, avec une vis d'Archimède ayant les dimensions suivantes :

Longueur de la vis.	5 ^m ,85
Diamètre extérieur.	0 ^m ,49
Inclinaison de la vis avec l'horizon	35°
Nombre de tours de la vis par minute.	40
Hauteur à laquelle l'eau était élevée.	3 ^m ,30
Quantité d'eau élevée à 3 ^m ,30 par heure.	45 ^m .cub.

Comme la vis était manœuvrée par deux compagnies de chacune neuf hommes, travaillant par relais de deux heures, l'effet produit était donc équivalent à 16^m,50 d'eau élevés à 1^m,00 de hauteur, par heure et par homme; et comme la durée du travail journalier n'était que de cinq heures, l'effet utile journalier était très-faible.

On peut admettre qu'un ouvrier manœuvrant une vis d'Archimède bien disposée, peut produire un effet utile équivalent à 15^m,00 cubes d'eau élevés à 1^m,00 de hauteur par heure, et travailler six heures par jour; il peut même travailler huit heures, sur vingt-quatre, si l'épuisement est continu et les relais bien disposés.

En Hollande et en Allemagne, on remplace souvent le canon, c'est-à-dire l'enveloppe extérieure des hélices, par un coursier demi-circulaire fixe. Par cette disposition, le poids du canon et celui de l'eau qui se trouve dans la vis ne reposent plus sur les pivots, et ne tendent plus à produire directement la flexion du noyau; mais il faut marcher avec une grande vitesse, pour que la perte d'eau entre les hélices et le coursier ne soit pas considérable. Elles sont presque toujours mues par des moulins à vent.

MOULINS A VENT.

152. *Moulins à vent.* La pression exercée par le vent contre une surface plane normale à la direction de son mouvement, est, pour des vitesses inférieures à 10 mètres par seconde,

$$P = 0,11ds^{1,1}v^2.$$

ou à peu près

$$P = ds2h,$$

P pression en kilogrammes ;

d poids d'un mètre cube de l'air en mouvement ;

s surface de la plaque, en mètres carrés ;

v vitesse du vent, en mètres par seconde, ou vitesse relative de choc de l'air contre le disque si l'un et l'autre sont en mouvement ;

$h = \frac{v^2}{2g}$ hauteur génératrice de la vitesse v.

La première valeur de P fait voir que la pression croît dans un rapport plus grand que la surface choquée. D'après Borda, trois plaques dont les surfaces étaient entre elles comme les nombres 1, 2,25 et 5,06, ont donné des pressions qui étaient entre elles comme les nombres 1, 2,44 et 5,97; valeurs qui croissent à peu près comme les puissances 1,1 des surfaces.

Lorsque le vent frappe une surface suivant un certain angle, la pression qu'il exerce sur cette surface, dans la direction de son mouvement, est, d'après Hutton,

$$0,11ds^{1,1}v^2(\sin i)^{1,86} \cos i.$$

i angle que fait la direction du vent avec la surface.

Les autres lettres ont les mêmes significations que dans le cas précédent.

TABLEAU des pressions exercées par le vent à différentes vitesses, contre une surface d'un mètre carré, choquée directement, d'après la formule $P = 0,11ds^{1,1}v^2$.

NOMS DES VENTS.	VITESSE par seconde.	PRESSION par mètre carré.
	m.	k.
Vent faible.	2.00	0.54
Vent frais ou brise (tend bien les voiles).	6.00	4.87
Vent le plus convenable aux moulins.	7.00	6.64
Bon frais (convenable pour la marche en mer).	9.00	10.97
Grand frais (fait serrer les hautes voiles)	12.00	19.50
Vent très-fort.	15.00	30.47
Vent impétueux.	20.00	54.16
Tempête.	24.00	78.00
Tempête violente.	30.05	122.28
Ouragan.	36.15	176.96
Grand ouragan.	45.30	277.87

Les résultats de ce tableau supposent la pression manométrique égale à 0^m,755 de mercure, et la température égale à 12°, ce qui donne $d = 1^k,231$; quand $s = 1$, on a aussi $s^{1,1} = 1$.

Un vent dont la vitesse est inférieure à 4 mètres par seconde, n'est pas suffisant pour qu'un moulin à vent puisse moudre le blé, et si la vitesse dépasse 8 mètres, on est obligé de commencer à serrer les voiles.

D'après Smeaton, un moulin à vent donne le maximum d'effet, quand ses ailes sont des surfaces gauches dont les génératrices situées aux points obtenus en divisant la longueur de l'aile en 6 parties égales, font avec l'axe de la roue ou la direction du vent les angles désignés dans le tableau suivant. (La génératrice n° 1 est celle qui se trouve au point de division le plus rapproché de l'axe, c'est en ce point que commence la voilure.)

NUMÉROS des génératrices.	ANGLES avec l'axe.	ANGLES avec le plan du mouvement des ailes.	OBSERVATION.
1	72°.00	18°.00	Les angles de la troisième colonne sont les compléments de ceux de la seconde.
2	71 .00	19 .00	
3	72 .00	18 .00	
4	74 .00	16 .00	
5	77 .50	12 .50	
6	83 .00	7 .00	

Une différence de quelques degrés avec les valeurs du tableau, est sans influence sur l'effet produit.

La largeur de l'aile est ordinairement comprise entre le 1/5 et le 1/6 de la longueur, et ne doit jamais dépasser le 1/4.

L'aile, au lieu d'être rectangulaire, a quelquefois la forme d'un trapèze dont le côté parallèle situé à l'extrémité de l'aile, est égal au 1/3 de la longueur de l'aile, et à 1,66 fois le côté parallèle intérieur; ce côté parallèle extérieur est divisé par l'axe de l'aile en deux parties qui sont dans le rapport 5:3. L'un des grands côtés du trapèze est parallèle au bras de l'aile. Il convient également de disposer les divers éléments de l'aile trapézoïdale en surface gauche, comme ceux de l'aile rectangulaire.

D'après Smeaton, les ailes d'un moulin à vent étant bien airées, lorsqu'elles marchent sans charge, la vitesse de leur extrémité est égale à 4 fois celle du vent; et cette vitesse doit être égale à 2,5 ou 2,7 fois celle du vent, pour que le moulin rende le maximum d'effet.

Smeaton conclut aussi de ses expériences, que les charges sont à peu près proportionnelles aux carrés des vitesses du vent; ainsi les vitesses étant dans le rapport de 1 à 2, les charges ont crû dans celui de 1 à 3,75. De là, il résulte que les effets produits sont à peu près dans le rapport des cubes des vitesses du vent; c'est aussi ce que confirment les expériences de Smeaton, dans lesquelles, les vitesses étant dans le rapport de 1 à 2, les effets ont été dans celui de 1 à 7,02.

L'effet dynamique, en kilogrammètres, par seconde, d'un moulin à vent, est assez bien représenté par l'expression

$$nSV^3.$$

- n coefficient qui est égal à 0,05 d'après des expériences rapportées par Smeaton, où l'on avait $s = 0^m,2607$; des expériences, faites par Coulomb, sur un grand moulin à vent construit aux environs de Lille, ont donné $n=0,03$. Dans les cas ordinaires de la pratique, il conviendra d'adopter cette dernière valeur de n , en ne considérant toutefois les résultats fournis par la formule, que comme des approximations.
- S surface des quatre ailes, en mètres carrés;
- V vitesse du vent, en mètres par seconde.

L'expression de l'effet utile rendu par un moulin à vent, est la même que pour celui rendu par une roue pendante (n° 134, page 147); la différence ne consiste que dans la valeur du coefficient numérique.

Dimensions des parties principales d'un moulin à vent :

Équarrissage de l'arbre	0 ^m ,50 à 0 ^m ,60
Inclinaison de l'arbre avec l'horizon	10° à 15°
Longueur des ailes, mesurée depuis l'axe de rotation	10 à 12 mètres;
Équarrissage des axes des ailes près de l'arbre	0 ^m ,30
Espacement des petits barreaux implantés dans l'axe de l'aile, et sur lesquels on étend les voiles	0 ^m ,40
Surface ordinaire de chaque aile	20 mètres carrés.

153. *Travail d'un moulin à vent appliqué à une huilerie, ou employé à la mouture du blé; et travail des moulins à blé ordinaires.* Les expériences de Coulomb, citées à la fin du numéro précédent, ont été faites sur un moulin à vent faisant marcher les pilons d'une huilerie. Les cames sont montées sur l'arbre du moulin, et communiquent directement le mouvement à 5 pilons pesant chacun 510 kilog. et destinés à broyer la graine de colza, et à deux autres pesant chacun 250 kilog., et destinés à serrer et à desserrer les coins qui séparent, par compression, l'huile de la gangue. Il n'y a jamais qu'un de ces derniers pilons qui marche à la fois; mais les 5 autres fonctionnent simultanément quand le vent le permet. L'élévation verticale des pilons est de 0^m,49, et chacun d'eux, mis en mouvement, s'élève deux fois par tour du moulin.

TABLEAU des résultats fournis par trois expériences de Coulomb.

VITESSE DU VENT par seconde.	NOMBRE DE TOURS par l'.	POIDS ÉLEVÉ A 0 ^m .49 par tour.	EFFET UTILE par l'.
m. 2.27	3	k. 1020	km. 1499
4.06	7,5	2540	9334
6.50	13	5600	35672

A la vitesse de 6^m,50, on marche avec toutes les voiles sans que la machine se fatigue; mais, passé cette limite, on commence à charger les voiles.

L'effet utile, en chevaux-vapeur, transmis par l'arbre du moulin dans la troisième expérience, est, en négligeant les frottements et les chocs des pilons, $\frac{35672}{4500} = 7,9$ chevaux; la surface utile de chaque aile ayant 10 mètres de longueur sur 1^m,95 de largeur, ce qui fait 78 mètres carrés pour les 4 ailes, la surface de voilure est donc de 10 mètres carrés environ par force de cheval; dans la deuxième expérience elle était de 40 mètres carrés environ.

Un relevé du travail de plusieurs années, a fait voir que chaque moulin fabrique moyennement 40000 kilog. d'huile par an. Le travail transmis aux pilons par 100 kilog. d'huile fabriqués, étant de 14000 à 15000 grandes unités dynamiques (19); en admettant avec Coulomb, que les frottements et les chocs des pilons absorbent le 1/6 environ du travail transmis à ces pilons, il en résulte que la fabrication seule de 100 kilog. d'huile absorbe moyennement 12000 grandes unités dynamiques. M. Morin rapporte que les meules d'un moulin à huile, pesant 3000 kilog.; l'arbre vertical faisait 6 tours par minute, le poids de graine chargé à chaque rechange de 10' était de 25 kilog., le poids de la graine broyée en un jour était de 4500 kilog., et la quantité d'huile fabriquée en 12 heures, 600 kilog. La quantité de travail transmise par l'arbre moteur étant de 205 kilogrammètres par seconde, il en résulte que, par ce procédé, la fabrication de 100 kilog. d'huile, n'absorbe que 1476 grandes unités dynamiques, c'est-à-dire le 1/10 environ de celui absorbé par l'emploi des pilons.

D'après Coulomb, on peut admettre que le travail annuel d'un moulin à vent, n'est que le 1/3 environ de celui qu'il produirait en marchant d'une manière continue dans les conditions les plus favorables, c'est-à-dire, sous l'action d'un vent de 6^m,50 à 7^m,00 de vitesse par seconde.

Coulomb ayant soumis à l'expérience un moulin à blé dont la meule faisait 5 tours par chaque tour des ailes, il a reconnu que le mouvement ne commençait à avoir lieu que quand la vitesse du vent atteignait 4 mètres, et que cette vitesse ayant atteint 5^m,80, les ailes faisaient de 11 à 12 tours par minute, et la quantité de blé moulu sans être bluté, était de 400 à 450 kilog. à l'heure.

M. Hachette rapporte que dans un moulin de Corbeil, mû par une roue à aubes transmettant 1321 grandes unités dynamiques par heure, la meule ayant 2 mètres de diamètre, et faisant 67 révolutions par minute, la quantité de farine brute (son et farine mélangés) produite a été de 200 kilog. en une heure 15 minutes. Ce résultat prouve que Coulomb a dû se tromper dans l'évaluation du blé moulu par un moulin à vent. Des résultats de M. Hachette, il résulte que la mouture à la grosse de 100 kilog. de blé, absorbe 825 grandes unités dynamiques.

Au moulin à l'anglaise de M. Benoît, à Saint-Denis, chaque paire de meules convertit en farine 2000 kilog. de blé en 24 heures, et la mouture finie de 100 kilog. de blé consomme environ 1200 grandes unités dynamiques. (*Bulletin de la société d'encouragement*, avril 1827).

M. d'Aubuisson conclut, des résultats obtenus par différents observateurs, que la force que doit transmettre l'arbre d'une roue hydraulique commandant un moulin, est d'au moins 3 chevaux par hectolitre de blé de 75 kilog. à moudre par heure; c'est 1080 grandes unités dynamiques par 100 kilog. de blé.

D'après les observations de M. l'ingénieur Mallet, sur un moulin à l'anglaise des environs de Paris, la meule ayant 1^m,30 de diamètre et faisant de 100 à 120 tours par minute, la quantité de blé moulu a été de 2,48 hectolitres par heure, et la force du moteur de 3 chevaux par hectolitre.

Dans les moulins des États-Unis d'Amérique, les meules ont

généralement 1^m,50 de diamètre, et font 100 tours par minute ; et, d'après les observations d'Évans, la quantité de blé moulue est de 1,76 hectolitre par heure, et la force du moteur de 3 chevaux par hectolitre.

ÉCOULEMENT DES GAZ.

154. *Écoulement des gaz.* (Consulter, pour l'analogie, l'écoulement de l'eau, n^o 89 et suivants.) L'expérience prouve que les volumes d'un même poids, d'un même gaz sous des pressions différentes et à des températures différentes, sont entre eux dans le rapport inverse des pressions, et dans le rapport direct des volumes que prend l'unité de volume à 0°, en passant aux températures du gaz. De là, il résulte que les poids d'un même volume ou les densités d'un même gaz sous des pressions différentes et à des températures différentes, sont entre eux dans le rapport direct des pressions, et dans le rapport inverse des volumes de l'unité de volume à 0° ramenés aux températures des gaz : ainsi, le poids d'un mètre cube d'air à 0° et sous la pression 0^m,76, étant 1^k,299, à la température de *t*° et sous la pression *h*, il est

$$1^{\text{k.}299} \frac{h}{0.76} \frac{1}{1+0.00364t} = 1.709 \frac{h}{1+0.00364t}$$

0,00364 coefficient de dilatation des gaz (2^e partie) ;
 1+0.00364*t* volume que prend l'unité de volume à 0°, en passant à la température *t*°.

L'air de l'atmosphère contient toujours de la vapeur d'eau, et d'autant plus que sa température est plus élevée ; comme cette vapeur diminue sa densité, dans les applications, on peut prendre, pour poids d'un mètre cube d'air atmosphérique,

$$1.709 \frac{h}{1+0.004t}$$

Lorsqu'un gaz s'échappe d'un vase où il est comprimé, il s'écoule avec une vitesse

$$V = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gh \frac{\delta}{\delta'}}$$

V vitesse d'écoulement ;
h' hauteur génératrice de la vitesse V, exprimée en gaz qui s'écoule ;
h pression marquée par le manomètre ;
 $h' = h \frac{\delta}{\delta'}$;
 δ densité du liquide placé dans le manomètre ;
 δ' densité du gaz comprimé.

La dépense théorique, c'est-à-dire le volume du gaz qui s'écoulerait par un orifice, s'il n'y avait pas contraction de la veine, est

$$q = SV = S \sqrt{2gh \frac{\delta}{\delta'}}$$

q dépense théorique ;
S section de l'orifice d'écoulement.

La dépense effective est toujours moindre que la dépense théorique ; ainsi on a

$$Q' = kq = kS \sqrt{2gh \frac{\delta}{\delta'}}$$

Q' dépense effective en air comprimé ;
k coefficient de la dépense ; sa valeur dépend de la forme de l'orifice d'écoulement : d'après les expériences de M. d'Aubuisson, sur des orifices en mince paroi de 0^m,01 à 0^m,03 de diamètre, *k* = 0,63 pour les plus petits orifices, *k* = 0,673 pour les plus grands et *k* = 0,65 en moyenne pour les orifices compris entre ces limites. Pour les mêmes orifices garnis d'ajutages cylindriques de diamètres égaux aux leurs, et d'une longueur de 4 centimètres pour ceux de 0^m,01, et de 0^m,08 pour ceux de 0^m,03, *k* a été à peu près constant, et égal en moyenne à 0,926.

M. d'Aubuisson a voulu se rendre compte de l'influence de la longueur de l'ajutage sur la valeur de *k* ; et, en opérant sur des tubes de 0^m,015 de diamètre, il a obtenu les résultats suivants :

LONGUEUR de l'ajutage.	VALEUR DE <i>k</i> .	DÉPENSE EFFECTIVE par seconde.
m. 0.022	0.938	m.cub. 0.00728
0.045	0.924	0.00700
0.162	0.838	0.00628
0.325	0.738	0.00570

Pour des ajutages coniques dont le diamètre à la sortie était moitié de celui à l'entrée et compris dans les limites de 0^m,01 à 0^m,03, les longueurs de ces ajutages étant de 0^m,04 pour ceux de 0^m,01 de diamètre à la sortie, et de 0^m,08 pour ceux de 0^m,03; la valeur de k a été à peu près constante, et égale en moyenne à 0,93.

Pour des ajutages courts, peu convergents et de 0^m,015 de diamètre à la sortie, M. d'Aubuisson a obtenu pour k les valeurs du tableau suivant.

ANGLE de convergence.	LONGUEUR de l'ajutage.	VALEUR MOYENNE de k .
6° 26'	m. 0.045	0.938
18 54	<i>id.</i>	0.917
53 8	<i>id.</i>	0.798
11 24	0.025	0.947
28 4	0.010	0.880

Ce tableau fait voir que des ajutages courts et peu convergents sont favorables à la dépense, et que tant que l'angle de convergence ne dépassera pas 10° à 12°, il conviendra de faire $k = 0,94$.

Pour les buses, on devrait faire $k = 0,94$, valeur qui convient à leur angle de convergence; mais, à cause de leur longueur et afin de n'être pas en défaut pour la dépense, on devra faire $k = 0,93$ dans le calcul de leur section.

Ayant la dépense effective Q' en air comprimé, cette dépense, ramenée à la pression atmosphérique, sera

$$Q = Q' \frac{H+h}{H}.$$

Q volume d'air écoulé, ramené à la pression atmosphérique;

H pression atmosphérique;

h pression manométrique.

Les pressions H et h sont exprimées en hauteurs du même liquide, c'est ordinairement en mercure.

CONDUITES D'AIR.

155. *Conduites d'air.* (Nos 113 et suivants.) De même que l'eau,

l'air exerce un frottement contre les parois des tuyaux dans lesquels il circule; ce frottement diminue sa force élastique depuis l'origine du tuyau jusqu'à la fin, et cette diminution, c'est-à-dire la perte de hauteur manométrique, a la même expression que pour l'eau; et en négligeant le terme contenant la première puissance de la vitesse de l'air dans le tuyau, ce que l'on peut faire, d'après les expériences de Hutton, pour des vitesses comprises entre trois mètres et cent mètres, on peut poser

$$H - h = n' \frac{Lu^2}{D}.$$

Formule que M. d'Aubuisson transforme en cette autre :

$$H - h = n \frac{hLd^4}{D^5}. \quad (1)$$

n' coefficient constant;

u vitesse moyenne de l'air dans le tuyau; elle n'est jamais supérieure à cinquante mètres, et elle est rarement inférieure à trois mètres;

H hauteur indiquée par le manomètre placé à l'origine de la conduite;

h hauteur indiquée par le manomètre placé à l'extrémité de la conduite;

n coefficient qui est égal, d'après les expériences de M. d'Aubuisson, sur des tuyaux en fer-blanc de 0^m,0235 à 0^m,10 de diamètre, à 0,0238 en moyenne; cette valeur suppose que la buse ou l'ajutage placé à l'extrémité de la conduite donne lieu à un coefficient de dépense égal à 0^m,93, comme cela a lieu généralement (154);

L longueur de la conduite;

d diamètre de la buse ou de l'ajutage par lequel l'air s'écoule;

D diamètre de la conduite.

De la formule précédente, on tire

$$H = h \left(1 + \frac{nLd^4}{D^5} \right).$$

H pression que doit indiquer le manomètre placé à l'origine de la conduite pour que l'air s'échappe par la buse avec une vitesse due à la hauteur h exprimée en air comprimé, c'est-à-dire, à la hauteur $h' = h \frac{\delta}{\delta'} (154)$. Cette vitesse

n'est pas inférieure à 80 mètres par seconde pour les hauts-fourneaux marchant au charbon de bois, et à 150 mètres pour ceux marchant au coke.

M. d'Aubuisson a aussi donné l'expression de la dépense d'une conduite, elle est

$$Q = 1870 \sqrt{\frac{1+0.004t}{b+h}} \sqrt{\frac{HD^5}{L+42\frac{D^5}{d^4}}}$$

Q volume d'air à t° et sous la pression $b+h$, écoulé par seconde ;
 b pression atmosphérique ;
 0,004 coefficient de dilatation du gaz (154).

Si la conduite est entièrement ouverte à l'extrémité, on a $d=D$; et en ôtant le coefficient de la dépense 0,93 qui est nul, du facteur 1870, la formule précédente devient

$$Q = 2011 \sqrt{\frac{1+0.004t}{b+h}} \sqrt{\frac{HD^5}{L+42D}}$$

Des expériences faites par M. Girard, sur une conduite de 0^m,01579 de diamètre, formée de canons de fusil adaptés bout à bout, ont donné

$$Q = 1989 \sqrt{\frac{1+0.004t}{b+h}} \sqrt{\frac{HD^5}{L+42D}}$$

Comme dans ces cas d'écoulement, à l'air libre, on peut supposer $h=0$, et par suite $b+h=0^m,76$, on a, en faisant $t=12^\circ$, température moyenne de la France,

$$Q = 2336 \sqrt{\frac{HD^5}{L+42D}}$$

Pour l'eau, M. d'Aubuisson donne pour l'expression de la dépense Q' dans les grandes vitesses,

$$Q' = 76.45 \sqrt{\frac{HD^5}{L+36D}}$$

On a donc, à peu près,

$$Q' : Q :: 76,45 : 2336 :: 1 : 30,55.$$

C'est-à-dire que, sous une même charge, une même conduite dépense, en volume, 30,55 fois plus d'air que d'eau.

Pour un autre gaz quelconque, les dépenses Q seront données en divisant les valeurs précédentes données pour l'air, par $\sqrt{\delta''}$; δ'' étant la densité du gaz qui s'écoule, par rapport à celle de l'air : ainsi, pour le gaz de l'éclairage, ce sera par $\sqrt{0,559}$.

La résistance des coudes est sensiblement proportionnelle au carré de la vitesse du fluide, et au carré du sinus de l'angle du

coude ; mais M. d'Aubuisson, dans ses expériences, a reconnu qu'au delà d'un certain nombre de coudes, la résistance ne croissait plus proportionnellement à leur nombre ; et que même elle diminuait quand ce nombre augmentait : ainsi, quinze coudes ont donné moins de résistance que sept de même grandeur. Sept coudes à 45° ont diminué la dépense de $1/4$. En pratique, on évitera le mauvais effet des coudes, en arrondissant bien ceux qu'on ne pourra éviter.

MACHINES SOUFFLANTES.

156. *Machines soufflantes.* Pour les machines soufflantes à cylindre en fonte, le rapport du volume d'air expulsé au volume engendré par le piston est égal à 0,75, et pour les machines à caisse carrée en bois, ce rapport est égal à 0,55 seulement.

Désignant par V le volume effectif d'air, à 0° et sous la pression 0^m,76, que doit fournir la machine en une minute, on calcule le diamètre et la course du piston pour fournir un volume

$$V(1+at).$$

a coefficient de dilatation de l'air, qu'on suppose égal à 0,004 (154) ;
 t température de l'air ; en France, on fait $t=20^\circ$.

Le volume engendré par un piston cylindrique, en une minute, est

$$\frac{1}{4}\pi D^2ln;$$

et par un piston carré,

$$C^2ln.$$

D diamètre du piston cylindrique ;
 l course du piston ;
 n nombre de coups de piston par minute ;
 C côté du piston carré.

On aura donc successivement, pour les deux genres de machine,

$$0,75 \frac{1}{4} \pi D^2 ln = V(1+0,004t),$$

et

$$0,55C^2ln = V(1+0,004t).$$

Faisant $t=20^\circ$, on conclut

$$D^2 = 1,831 \frac{V}{ln},$$

et

$$C^2 = 1,964 \frac{V}{ln}.$$

Pour les machines à cylindre, la vitesse du piston varie de 0^m,50 à 1^m,00 par seconde, et on fait ordinairement $l = D$.

Désignant par v la vitesse du piston, on a $nl = 60v$, et par suite,

$$D^2 = 1,834 \frac{V}{60v} = 0,031 \frac{V}{v}.$$

Pour les machines à cylindre, la section des soupapes d'aspiration varie de 1/15 et 1/12 de la section du cylindre soufflant pour des vitesses de piston comprises entre 0^m,50 et 0^m,75, et de 1/10 à 1/9 pour des vitesses comprises entre 0^m,75 et 1^m,00.

Pour les machines à caisse carrée, la vitesse du piston varie de 0^m,25 à 0^m,30 par seconde, et la section des soupapes d'aspiration est comprise entre le 1/15 et le 1/20 de celle de la caisse.

Pour les machines à cylindre, comme pour celles à caisse, la section des soupapes d'expiration varie de 1/15 à 1/20 ou 1/22 de celle du cylindre ou de la caisse.

Les tuyaux de conduite doivent avoir une section égale à celle des soupapes d'expiration.

Les pistons des caisses en bois sont mis en mouvement par des cames, et leur course n'excède pas 0^m,65.

Le diamètre de la tige du piston varie de 1/20 à 1/17 de celui du cylindre.

La pression de l'air dans le cylindre doit être suffisante pour soulever la soupape, vaincre le frottement dans le tuyau qui conduit l'air du cylindre au régulateur, celui qui peut avoir lieu dans le régulateur, ainsi que celui qui a lieu dans le tuyau qui amène l'air du régulateur à la buse, et produire une vitesse d'écoulement convenable par la buse. D'après ce qui a été dit (n° 155), on pourra calculer les différentes pertes de force élastique dues au frottement de l'air dans les tuyaux; et comme on pourra, jusqu'à un certain point, tenir compte de l'effet de la soupape, on aura donc la pression absolue de l'air dans le cylindre.

Dans une machine soufflante, l'équilibre dynamique est, pour une minute,

$$T_m = T_u + T.$$

- T_m travail moteur dépensé par minute, sur la tige du piston soufflant;
 T_u travail absorbé pour comprimer l'air à la pression P , dans le cylindre, et pour le faire sortir de ce cylindre;
 T_r travail absorbé par le frottement de la garniture du piston et celui de la tige dans le stuffenbox, et pour soulever les soupapes.

Pour une cylindrée, on a

$$t_u = Qp \times 2,3026 \log \frac{P}{p}.$$

- Q volume d'une cylindrée;
 p pression atmosphérique; c'est sensiblement la pression de l'air derrière le piston.

Tant que $\frac{P}{p}$ est plus petit que 2, on peut supposer

$$2,3026 \log \frac{P}{p} = \frac{P-p}{0,50(P+p)},$$

et il vient

$$t_u = Qp \frac{P-p}{0,50(P+p)}.$$

Pour un mètre carré de surface,

$$p = 0,76 \times 13598^k,$$

et

$$P = (0,76 + h)13598 \text{ kilog.}$$

h hauteur marquée par le manomètre à mercure placé sur le cylindre.

Substituant ces valeurs de p et de P dans celle de t_u , on a

$$t_u = Q \times 13598 \frac{1,52h}{1,52+h}.$$

V' étant le volume d'air ramené à 0°, à fournir par minute, on a

$$V'(1+0,004t) = 0,75V,$$

d'où l'on tire

$$V = \frac{V'}{0,75} (1+0,004t).$$

On a

$$nQ = V,$$

et, par suite,

$$nt_u = T_u = V \times 13598 \frac{1,52h}{1,52+h} = \frac{V}{0,75} (1+0,004t) 13598 \frac{1,52h}{1,52+h}.$$

Le frottement de la garniture du piston dépend de la pression;

il faudrait donc tenir compte des variations de pression de l'air dans le cylindre; mais il conviendra de supposer la pression constante et égale à h , ce qui permettra de négliger le frottement de la tige dans le stuffenbox, et on aura alors (41)

$$T_r = n\pi D e h f l.$$

On a donc

$$T_m = \frac{V'}{0,75} (1 + 0,004t) 13598 \frac{1,52h}{1,52 + h} + n\pi D e h f l.$$

La capacité utile d'un régulateur à eau varie de dix à douze fois celle du cylindre soufflant; sa section est égale à la section de l'eau environnante; l'eau doit toujours s'élever à 0^m,30 au-dessus de l'arête inférieure du régulateur, afin qu'on soit assuré qu'il ne s'échappera pas d'air. La capacité d'un régulateur à cylindre flottant varie de deux à trois fois celle du cylindre soufflant; et celle d'un régulateur à capacité constante, de vingt à vingt-cinq fois celle de ce cylindre.

VENTILATEURS.

157. *Ventilateur aspirant.* Si les orifices de sortie d'un ventilateur étaient égaux aux orifices d'entrée, et si l'air n'éprouvait aucune résistance pour entrer dans les ailes, ni contre les ailes, la vitesse de sortie de l'air serait égale à la vitesse de rotation de l'extrémité des ailes. A cause des phénomènes compliqués qui ont lieu dans le ventilateur, il a été impossible, jusqu'à présent, de donner une expression analytique satisfaisante de son effet. La théorie a conduit M. Combes à courber les ailes; mais, jusqu'à présent, on a donné la préférence aux ventilateurs à ailes planes, qui sont d'une construction plus facile.

Il convient de faire le diamètre extérieur du ventilateur double du diamètre intérieur. La distance des joues doit être égale au rayon intérieur si l'air arrive par les deux joues, et moitié seulement si l'air n'arrive que par une joue. Le nombre convenable d'ailes est six. (Consulter la deuxième partie.)

158. *Ventilateur soufflant.* Les phénomènes qui se passent dans ce ventilateur sont encore plus compliqués que dans le précédent. Nous nous contenterons de donner ici les résultats fournis par deux ventilateurs soufflants, à ailes planes légèrement inclinées

sur le rayon; le premier à MM. Sudds, Barker et compagnie, de Rouen; le deuxième à M. Martin fils, aussi de Rouen.

NOMBRE d'ailes.	DIAMÈTRE extérieur.	DIAMÈTRE Intérieur.	ÉCARTEMENT des joues.	CUBILOTS desservis.	NOMBRE de tours en 1'	FORCE en chevaux vapeur.	PRODUIT total, en fonte, par heure.
6	m. 1	m. 0.50	m. 0.20	2	1000	4	kilog. 4000
"	1.4	0.40	0.35	2	600	4	"

Il convient de faire aspirer les ventilateurs par les deux joues, et de tenir leur diamètre entre les limites 0^m,90 et 1^m,10.

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

159. *Résistance à la traction.* Lorsqu'un corps solide est tiré dans le sens de sa longueur, il s'allonge d'une certaine quantité variable pour chaque nature de corps; mais qui est, pour une même matière, proportionnelle à la longueur de la pièce et à l'effort de traction, et en raison inverse de la section transversale de cette pièce.

Cette loi n'est vraie, qu'autant que la charge ne produit pas un allongement supérieur à celui que peut atteindre la pièce sans cesser de reprendre sa longueur primitive quand l'effort cesse son action; ce plus grand allongement correspond à ce qu'on appelle la limite d'élasticité, limite qu'il ne faut jamais dépasser ni même atteindre en pratique.

L'allongement que prend un corps soumis à la traction, est alors donné par la formule

$$i = \frac{P}{EA}, \text{ d'où } E = \frac{P}{\Lambda i}.$$

- i allongement du corps, par mètre de longueur de la pièce, en mètres;
 P effort qui tend à allonger le corps, en kilogrammes;
 Λ section transversale du corps, en millimètres carrés;
 E quantité constante pour une même nature de corps, et qu'on nomme *coefficient* ou *module d'élasticité*; c'est le poids, exprimé en kilogrammes, qui serait capable, si cela était possible, d'allonger un corps prismatique de matière homogène et d'un millimètre carré de section, d'une quantité égale à sa longueur primitive.

M. Poncelet a formé le tableau suivant qui donne, pour différents corps, les valeurs moyennes de E , ainsi que celles de i et de p , correspondant à la limite d'élasticité de ces corps.

DÉSIGNATION DES CORPS.	VALEUR de i .	VALEUR de P pour 1 millim. carré de section.	VALEUR de E pour 1 millim. carré de section.
	m.	kil.	kil.
Chêne	$\frac{1}{600} = 0.00167$	2.00	1200
Sapin jaune ou blanc	$\frac{1}{430} = 0.00117$	2.17	1300
Sapin rouge ou pin	$\frac{1}{470} = 0.00210$	3.15	1500
Mélèze ou larix	$\frac{1}{520} = 0.00192$	1.73	900
Hêtre rouge	$\frac{1}{570} = 0.00175$	1.63	930
Frêne	$\frac{1}{835} = 0.00113$	1.27	1120
Orme	$\frac{1}{411} = 0.00242$	2.35	970
Fers doux passés à la filière, de petites dimensions	$\frac{1}{1250} = 0.00080$	14.75	18000
Fers en barres	$\frac{1}{1520} = 0.00066$	12.205	20000
Acier d'Allemagne, très-bonne qualité, recuit à l'huile	$\frac{1}{824} = 0.00120$	25.00	21000
Acier fondu très-fin, trempé, recuit à l'huile	$\frac{1}{4500} = 0.000222$	66.00	30000
Fonte de fer à grains fins	$\frac{1}{1200} = 0.00083$	10.00	12000
Fils de cuivre	"	"	13100
Fils de laiton, recuits	$\frac{1}{742} = 0.00135$	15.00	10000
Laiton fondu	$\frac{1}{1320} = 0.00076$	4.80	6450
Bronze de canon fondu	$\frac{1}{1590} = 0.00063$	2.00	3200
Fil de plomb de coupelle, étiré à froid, de 4 mill. de diamètre	$\frac{1}{1490} = 0.00067$	0.40	600
Fil de plomb impur du com- merce, étiré à froid, de 6 mill. de diamètre	$\frac{1}{2000} = 0.00050$	0.40	800
Plomb fondu ordinaire	$\frac{1}{477} = 0.00210$	1.00	500

A l'aide de ce tableau et de la loi posée au commencement de ce numéro, on déterminera facilement l'allongement d'un corps du tableau, de section et longueur données, soumis à une charge aussi donnée.

En pratique, il convient de ne soumettre les pièces qu'à des charges permanentes qui ne dépassent pas la moitié de celles correspondant à la limite d'élasticité; on ne devra dépasser cette moitié, que pour les cas de constructions non permanentes et non soumises à des efforts longtemps prolongés; et il ne convient, dans aucun cas, que les charges dépassent les $\frac{3}{4}$ de celles correspondant à cette limite. Il convient, toutes les fois que cela est possible, de faire usage de cette règle pour déterminer les dimensions des pièces de construction.

Effort de rupture par traction. L'effort qui peut produire la rupture d'une pièce, en agissant dans le sens de sa longueur, est

$$P = Af.$$

A section transversale de la pièce;

f effort nécessaire pour rompre une tige de même matière que la pièce, et dont la section est l'unité prise pour exprimer A .

TABLEAU des valeurs de f pour différents corps.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	VALEUR de f pour 1 centimètre carré de section.
1° BOIS (a).	
Chêne, dans le sens des fibres	600 à 800
Tremble <i>id.</i>	600 à 700
Sapin <i>id.</i>	800 à 900
Frêne <i>id.</i>	1200
Orme <i>id.</i>	1040
Hêtre <i>id.</i>	800
Teak <i>id.</i>	1100

(a) En pratique, les pièces de bois ne peuvent être soumises à une traction permanente supérieure au $\frac{1}{10}$ de celle de rupture; cette faible charge est due aux altérations auxquelles les bois sont sujets: ainsi l'expérience a appris que le bois de chêne, qui résiste cependant bien aux intempéries des saisons, ne peut être exposé plus de 25 à 30 ans à l'air libre, à la manière des pièces de pont, sans être renouvelé.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	VALEUR de <i>f</i> pour 1 centimètre carré de section.	
	kil.	
Buis, dans le sens des fibres.	1400	
Poirier <i>id.</i>	690	
Acajou <i>id.</i>	560	
Tremble, latéralement aux fibres (ou par glissement).	57	
Sapin <i>id.</i> <i>id.</i>	42	
Chêne, perpendiculairement aux fibres.	160	
Peuplier <i>id.</i>	125	
Larix <i>id.</i>	94	
2° MÉTAUX (b).		
Fer forgé ou étiré en barres.	Le plus fort, de petit échantillon.	6000
	Le plus faible, de gros échantillon.	2500
	Moyen	4000
Fer en tôle lami- née.	Tiré dans le sens du laminage (Navier).	4100
	Tiré dans le sens perpendiculaire (<i>id.</i>).	3600
Fer, dit <i>ruban</i> , très-doux.	4500	
Fil de fer non re- cuit.	De Laigle, employé à la carderie, de 0.23 de millimètre de diamètre.	9000
	Le plus fort, de 0.05 à 1.0 mill. de diam.	8000
	Le plus faible, d'un grand diamètre.	5000
	Moyen de 1 à 3 millimètres de diamètre.	6000

(b) Les fers commencent à s'allonger sous des charges permanentes égales à la 1/2 ou aux 2/3 de la charge de rupture; et, en pratique, il convient que la charge permanente ne dépasse dans aucun cas le 1/3 de la charge de rupture, et qu'elle n'en soit que le 1/4 ou le 1/5 et même le 1/6 dans les constructions de grande durée, comme les ponts suspendus. Pour la fonte, la charge permanente ne doit jamais dépasser le 1/4 de la charge de rupture, et encore doit-on éviter son emploi dans les constructions exposées à des chocs.

Le rapport des charges permanentes aux charges de rupture pour les autres métaux, est le même que pour le fer ou la fonte, suivant que leur état se rapproche plus du celui de l'un ou de l'autre de ces métaux.

Le cuivre battu ou laminé et le plomb laminé commencent à s'étendre sous des charges permanentes de peu supérieures à la moitié de celles de rupture.

Le recuit enlève au fil de fer et au fil de laiton à peu près la moitié de leur résistance.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	VALEUR de <i>f</i> pour 1 centimètre carré de section.	
	kil.	
Fils de fer en faisceau ou câble (M. Bornet).	3000	
Chaînes en fer doux.	Ordinaires à maillons oblongs.	2400
	Renforcés par des étançons.	3200
Fonte de fer grise.	La plus forte, coulée verticalement.	1350
	La plus faible, coulée horizontalement.	1250
Acier.	Fondu ou de cémentation, étiré au mar- teau et en petits échantillons (1 ^{re} qua- lité).	10000
	Le plus mauvais, en barres de très-gros échantillons, mal trempé, etc.	3600
	Moyen.	7500
Bronze de canons, moyennement.	2300	
Cuivre rouge laminé, dans le sens de la longueur (Navier).	2100	
<i>Idem.</i> de qualité supérieure (Trémery et Poirier St-Brice).	2600	
Cuivre rouge battu (Rennie).	2500	
<i>Idem.</i> fondu (<i>Idem.</i>).	1340	
Cuivre jaune ou laiton fin (<i>Idem.</i>).	1260	
Cuivre rouge en fil, non recuit.	Le plus fort, de moins de 1 millimètre de diamètre.	7000
	Moyen, de 1 à 2 millim. de diamètre.	5000
	<i>Id.</i> le plus mauvais.	4000
Cuivre jaune (lai- ton) en fil non recuit.	Le plus fort, de moins de 1 millimètre de diamètre (Dufour).	8500
	Moyen, de plus de 1 millimètre de diamètre (Ardant et Dufour).	5000
Fil de platine écroui, non recuit, de 0.127 de millimètre de dia- mètre (Baudrimont).	11600	
Fil de platine recuit, d'après la mesure directe du diamètre.	3400	
Étain fondu (Rennie).	300	
Zinc fondu.	600	
Zinc laminé.	500	
Plomb fondu (Rennie).	128	
Plomb laminé (Navier).	135	
Fil de plomb de coupelle, fondu, puis passé à la filière, ayant 4 millimètres de diamètre (Ardant).	136	

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	VALEUR de <i>f</i> pour 1 centimètre carré de section.	
3° CORDES (c).		
Aussières et grelins en chanvre de Strasbourg, de 13 à 17 millimètres de diamètre.	880	
Aussières et grelins en chanvre de Lorraine, de 13 à 17 millim.	650	
<i>Idem.</i> en chanvre de Lorraine ou de Strasbourg, de 23 millimètres.	600	
Aussières et grelins de Strasbourg, de 40 à 54 millimètres.	550	
Vieille corde, de 23 millimètres.	420	
5° MATIÈRES DIVERSES (d).		
Verre et cristal, en tubes ou tiges pleines.	248	
Pierres	Basalte d'Auvergne.	77.00
	Calcaire de Portland.	60.00
	Blanche d'un grain fin et homogène.	14.4
	<i>Id.</i> à tissu compacte (lithographique).	30.8
	<i>Id.</i> à tissu arénacé (sablonneuse).	22.9
	<i>Id.</i> à tissu oolithique (globuleuse).	13.7
Briques	De Provence, très-bien cuites et d'un grain très-uni.	19.5
	Ordinaires, faibles.	8.0
	Gâché ferme.	11.7
Plâtre.	<i>Id.</i> moins ferme que le précédent.	5.8
	<i>Id.</i> fabriqué à la manière ordinaire.	4.0

(c) Pour les cordes, la charge permanente peut être la moitié de la charge de rupture. La rupture est précédée d'un allongement qui est le 1/6 de la longueur primitive, cet allongement est réduit à 1/10 si la charge n'est que moitié de la charge maxima.

D'après Coulomb, la résistance d'une corde goudronnée n'est que les 2/3 ou les 3/4 de celle d'une corde blanche d'un même nombre de fils de caret; et d'après Duhamel, la résistance d'une corde mouillée n'est que le 1/3 de celle de la même corde sèche.

Pour les courroies en cuir noir, la charge permanente peut être de 0^k,20 par millimètre carré de section.

(d) Ces matières ne sont employées qu'accidentellement pour résister à l'extension; la charge permanente qu'il convient de leur faire supporter est le 1/10 de la charge de rupture.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	VALEUR de <i>f</i> pour 1 centimètre carré de section.	
	kil.	
Mortier.	En chaux grasse et sable, âgé de 14 ans	4.2
	En chaux grasse, mauvais.	0.75
	En chaux hydraulique ordinaire et sable.	9.00
	En chaux éminemment hydraulique.	15.00
	De ciment de Pouilly et sable (parties égales), après un an de durcissement dans l'air ou dans l'eau.	9.6

160. *Résistance à l'écrasement.* D'après Rondelet, un cube de chêne, chargé suivant la longueur de ses fibres, s'écrase sous une charge de 385 à 462 kilog. par centimètre carré de section, et cette charge de rupture reste à peu près la même, tant que la longueur de la pièce ne dépasse pas sept à huit fois la plus petite dimension de la section transversale. La flexion commence à se faire sentir avant l'écrasement, dès que la longueur de la pièce atteint dix fois cette plus petite dimension.

Le fer commence à se comprimer sous une charge de 4945 kilog. par centimètre carré de section, et il fléchit avant l'écrasement, dès que la longueur de la pièce dépasse le triple de la plus petite dimension de la section transversale.

La fonte s'écrase sous une charge de 10 000 k. par centimètre carré de section transversale, et elle ne fléchit avant de s'écraser, que quand la longueur de la pièce dépasse dix fois la plus petite dimension de la section transversale; jusqu'à cette limite, la résistance reste à peu près constante.

Au-dessus du point où la flexion se manifeste avant l'écrasement, la résistance diminue considérablement à mesure que le rapport de la longueur de la pièce à la plus petite dimension de sa section transversale est plus grand: ainsi, en opérant sur des pièces de bois, le rapport de la longueur à la plus petite dimension étant

1 12 24 36 48 60 72,

les valeurs relatives des résistances limites des pièces ont été respectivement

1 $\frac{5}{6}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{6}$ $\frac{1}{12}$ $\frac{1}{24}$.

TABLEAU des charges moyennes qui produisent l'écrasement par centimètre carré de section transversale.

DÉSIGNATION DES CORPS.	DENSITÉ.	RAPPORT DE LA LONGUEUR DE LA PIÈCE à la plus petite dimension de la section transversale.				
		An-dessous de 12.	12	24	48	60
		k	k.	k.	k.	k.
Chêne fort	0.98	300 à 400	250	150	50	25
Chêne faible	0.90	190	84	56	n	n
Sapin jaune ou rouge.	0.67	400 à 500	350	200	70	n
Sapin blanc.	0.55	97	81	49	n	n
Fer forgé	7.79	4900	4084	2450	816	408
Fonte.	7.21	10000	8333	5000	1666	833

Pour les constructions de durée, la charge permanente ne doit pas, pour le bois, dépasser le $\frac{1}{10}$ de charge de rupture de ce tableau, et le $\frac{1}{6}$ ou le $\frac{1}{5}$ au maximum, pour les constructions de peu d'importance. Pour le fer et la fonte, la charge permanente ne doit pas dépasser le $\frac{1}{5}$ ou le $\frac{1}{4}$ de la charge de rupture.

Les pilots enfoncés complètement dans le sol se chargent de 30 à 35^k et même quelquefois plus, par centimètre carré de section (85).

Les matériaux du tableau précédent sont les seuls que l'on peut employer avec d'aussi petites dimensions de section transversale par rapport à leur longueur; il convient de n'employer les matériaux du tableau suivant, comme supports isolés, que pour des hauteurs de moins de douze fois la plus petite dimension de la section transversale.

TABLEAU des charges qui écrasent, après un temps très-court, différents corps, par centimètre carré de section. Ces résultats ont été obtenus en opérant sur des cubes ayant de 3 à 5 centimètres de côté. (Introduction à la Mécanique industrielle de M. Poncelet.)

DÉSIGNATION DES CORPS.	DENSITÉ.	CHARGE.	
PIERRES VOLCANIQUES, GRANITIQUES, SILICEUSES ET ARGILEUSES.			
Basaltes de Suède et d'Auvergne.	2.95	2000	
Lave dure du Vésuve (<i>piperno</i>), près Pouzzol.	2.60	590	
Lave tendre de Naples.	1.97	230	
Porphyre.	2.87	2470	
Granit vert des Vosges.	2.85	620	
Granit gris de Bretagne.	2.74	650	
Granit de Normandie, dit gatmos.	2.66	700	
Granit gris des Vosges.	2.64	420	
Grès très-dur, blanc ou roussâtre.	2.50	870	
Grès tendre.	2.49	4	
Pierre pore ou puante (argileuse).	2.66	680	
Pierre grise de Florence (argileuse, à grain fin).	2.56	420	
PIERRES CALCAIRES.			
Marbre noir de Flandre.	2.72	790	
Marbre blanc veiné, statuaire et turquin.	2.69	310	
Pierre noire de St-Fortunat, très-dure et coquilleuse.	2.65	630	
Roche de Châtillon, près Paris, dure et peu coquilleuse.	2.29	170	
Lials de Bagnaux, près Paris, très-dur, à grain fin.	2.44	440	
Roche douce de Bagnaux, près Paris.	2.08	130	
Roche d'Arcueil, près Paris.	2.30	250	
Pierre de Saillancourt, près Pontoise.	$\left. \begin{array}{l} 1^{\text{re}} \text{ qualité.} \\ 2^{\text{e}} \text{ qualité.} \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} 2.41 \\ 2.10 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} 140 \\ 90 \end{array} \right\}$
Pierre ferme de Conflans, employée à Paris.	2.07	90	
Pierre tendre (lambourde et vergelé), employée à Paris, résistant à l'eau.	1.82	60	
Lambourde de qualité inférieure, résistant mal à l'eau.	1.56	20	
Calcaire dur de Givry, près Paris.	2.36	310	
Calcaire tendre de Givry, près Paris.	2.07	120	
Calcaire jaune et oolithique de Jaumont, près Metz.	$\left. \begin{array}{l} 1^{\text{re}} \text{ qualité.} \\ 2^{\text{e}} \text{ qualité.} \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} 2.20 \\ 2.00 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} 180 \\ 120 \end{array} \right\}$

DÉSIGNATION DES CORPS.	DENSITÉ.	CHARGE.
		kil.
Calcaire jaune d'Amanvillers, près Metz. { 1 ^{re} qualité. . .	2.00	120
{ 2 ^e qualité. . .	2.00	100
Roche vive de Saulny, près Metz (non rompue).	2.55	300
Roche jaune de Rozérieulles, près Metz.	2.40	180
Calcaire bleu à gryphite, donnant la chaux hydraulique de Metz (non rompue).	2.60	300
BRIQUES.		
Brique dure, très-cuite.	1.56	150
Brique rouge.	2.17	60
Brique rouge-pâle (probablement mal cuite).	2.09	40
Brique de Hammersmith.	"	70
Brique de Hammersmith, brûlée ou vitrifiée.	"	100
PLÂTRES ET MORTIERS.		
Plâtre gâché à l'eau.	"	50
Plâtre gâché au lait de chaux.	"	73
Mortier ordinaire en chaux et sable.	1.60	35
Mortier en ciment ou tuileaux pilés.	1.46	48
Mortier en grès pilé.	1.68	29
Mortier en pouzzolane de Naples ou de Rome.	1.46	37
Enduit d'une conserve antique, près de Rome.	1.55	76
Enduit en ciment des démolitions de la Bastille	1.49	55
<i>D'après les expériences de M. Vicat sur des cubes de 1 centimètre de côté.</i>		
Pierre calcaire à tissu arénacé (sablonneuse).	"	94
<i>Id.</i> à tissu oolithique (globuleuse).	"	106
<i>Id.</i> à tissu compacte (lithographique).	"	285
Brique crue, ou argile séchée à l'air libre.	"	33
Plâtre ordinaire, gâché ferme.	"	90
<i>Id.</i> gâché moins ferme que le précédent.	"	42
Mortier en chaux grasse et sable ordinaire, âgé de 14 ans.	"	19
<i>Id.</i> hydraulique ordinaire.	"	74
<i>Id.</i> éminemment hydraulique.	"	144

En pratique, la charge permanente qu'il convient de faire supporter aux matériaux du tableau précédent n'est que le 1/10 de celle qui produit la rupture; dans les constructions les plus légères elle ne dépasse pas le 1/6; et dans les constructions de moellons ou de petits matériaux, il convient quelquefois de la réduire à 1/15 et même 1/20, il en est de même pour les supports isolés dont le rapport de la hauteur à la plus petite dimension de la section transversale est très-grand.

On a remarqué que les pierres soumises à l'écrasement résistent d'autant mieux que leur section se rapproche davantage de la forme circulaire: ainsi, pour deux pierres d'égale hauteur et dont la section commune était carrée pour la première et circulaire pour la deuxième, les résistances ont été dans le rapport des nombres 8 et 9. On a remarqué aussi, que la résistance d'un cube étant 1, celle du cylindre inscrit est 0,80 quand il repose sur sa base, et 0,32 quand il repose sur une arête, et que celle de la sphère inscrite est 0,26.

161. *Section d'une bielle.* Le noyau circulaire d'une bielle doit être convenable pour résister à l'effort de traction et de pression, et afin qu'il puisse résister aux efforts de flexion, on le renforce de quatre nervures dont la saillie, au milieu de la longueur de la bielle, est égale au rayon du noyau.

162. D'après les observations de Tredgold, les formules qui relient le mieux les dimensions d'une pièce de fonte ou de fer à la charge qu'elle supporte, est, pour la fonte,

$$P = \frac{230d^3}{1,24d^2 + 0,00039l^2};$$

et pour le fer

$$P = \frac{267d^3}{1,24d^2 + 0,00034l^2}.$$

P charge permanente, en kilogrammes, que supporte la pièce, sans altération;
d diamètre de la pièce cylindrique, ou côté de la pièce à section carrée, en centimètres;
l longueur de la pièce, en centimètres.

Cette formule donne le diamètre de la tige du piston d'une machine à vapeur à basse pression, égal aux 0,09 de celui du piston; mais, à cause de l'usure, on prend le 0,1.

D'après MM. Navier et Duleau, la résistance à l'écrasement est proportionnelle à

$\frac{ab^3}{l^2}$ pour les pièces de section rectangulaire ;

$\frac{q^4}{l^2}$ *id.* carrée ;

$\frac{d^4}{l^2}$ *id.* circulaire.

a et b côtés de la section rectangulaire (b petit côté) ;

l longueur de la pièce ;

q côté de la section carrée ;

d diamètre de la section circulaire.

Ces expressions théoriques, déduites de certaines hypothèses, ne s'accordent pas avec l'expérience pour toutes les proportions de pièces.

163. *Résistance, à un effort transversal, d'une pièce prismatique encastrée par une de ses extrémités et sollicitée à l'autre par une force unique P.* La rupture se produira évidemment au point d'encastrement, et la résistance de la pièce se composera de la somme des résistances à la traction et à la compression de toutes les fibres qui composent la section de rupture : il faut dire à la traction et à la compression, car des fibres sont tirées, d'autres comprimées, et il y a une ligne de fibres invariables, qui sépare les fibres précédentes. Le moment de rupture, c'est-à-dire la somme des moments des résistances de toutes les fibres, pris par rapport à la ligne des fibres invariables, est égal au moment de la force P, pris par rapport au point de rupture ; on peut donc poser

$$PL = \frac{RI}{n}. \quad (1)$$

L distance du point d'application de la force P au point de rupture ;

$\frac{RI}{n}$ moment de rupture de la pièce ;

R plus grande résistance à la traction et à la compression, des fibres qui composent la section de rupture de la pièce sollicitée perpendiculairement à sa longueur ;

I moment d'inertie de la section de rupture, pris par rapport à la ligne des fibres invariables ; on le représente par $\int v^2 d\omega$, c'est-à-dire qu'il est la somme des produits des divers éléments $d\omega$ qui composent la section de rupture par le carré de la distance v de chaque élément à la ligne des fibres invariables ;

n distance de la ligne des fibres invariables, au point de la section de rupture, qui en est le plus éloigné.

La pièce fléchit toujours d'une quantité plus ou moins grande avant de se rompre ; la flèche est donnée par la formule

$$\frac{PL^3}{3} = EIf. \quad (2)$$

E module ou coefficient d'élasticité (159) ;

EI moment d'élasticité de la pièce ;

f flèche produite ou quantité dont s'abaisse le point d'application P, dans la direction de cette force.

Comme, pour une pièce prismatique à section rectangulaire, on a

$$n = \frac{h}{2},$$

et que le moment d'inertie est

$$I = \frac{bh^3}{12};$$

les deux formules fondamentales (1) et (2) deviennent, en remplaçant n et I par leurs valeurs,

$$PL = \frac{Rbh^2}{6}, \quad (1')$$

et

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{Ebh^3f}{12}, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{4PL^3}{Eb^3h^3}. \quad (2)$$

b largeur de la section transversale de la pièce, ou dimension de cette section, perpendiculaire à la direction de la force P ;

h hauteur de la pièce ou dimension de la section transversale, parallèle à la direction de la force P.

Le membre $\frac{Rbh^2}{6}$ de l'équation (1') étant connu pour une pièce de section rectangulaire donnée, on en conclura la valeur de P ou celle de L, l'une ou l'autre de ces quantités étant donnée. Si P et L étaient déterminées d'avance, de cette même équation on tirerait les valeurs de b et de h , en établissant entre b et h un rapport convenable à la pratique ; pour les pièces de fonte sans nervure, on fait $b = \frac{1}{12}h$ au minimum ; $b = \frac{1}{4}h$ au maximum ; $b = \frac{1}{8}h$ en moyenne.

Pour le bois, on fait varier b entre $\frac{1}{3}$ et $\frac{1}{2}$ de h , et même, pour les pièces isolées, il convient de faire $b = \frac{5}{7}h$.

P étant exprimé en kilogrammes, et les quantités L, b, h et f en mètres, on a, pour E et R , les valeurs du tableau suivant :

DÉSIGNATION des matières.	VALEUR DE E.	VALEUR DE R	
		pour la rupture de la pièce.	qu'on ne doit pas dépasser en pratique
Bois de chêne.	1 200 000 000	6 000 000	500 000 à 700 000
Bois de sapin.	1 300 000 000	8 000 000	600 000 à 800 000
Arçs en planches. . .	500 000 000	3 000 000	250 000 à 300 000
Fils de fer, réunis en câble.	18 000 000 000	30 000 000	6 000 000 à 10 000 000
Fer forgé, au-dessus de 0 ^m .06 de côté. .	18 000 000 000	40 000 000	4 000 000 à 8 000 000
Fer forgé, au-dessous de 0 ^m .06 de côté. .	20 000 000 000	60 000 000	6 000 000 à 10 000 000
Fonte de bonne qualité, non soumise à des chocs.	12 000 000 000	28 000 000	Moyenne. . 7 000 000

Si la section transversale du solide est un carré, on a, dans le cas où il est fléchi dans le sens d'un côté,

$$n = \frac{q}{2}, \text{ et } I = \frac{q^4}{12};$$

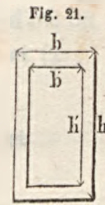
les formules (1) et (2) deviennent alors

$$PL = \frac{Rq^3}{6},$$

et

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{Eq^4}{12} f, \text{ d'où } f = \frac{4PL^3}{Eq^4}.$$

côté du carré.



Si la coupe transversale du solide prismatique encastré par une de ses extrémités et sollicité à l'autre par la force P , a la forme indiquée *fig. 21*, on a

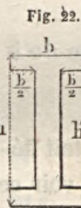
$$n' = \frac{h}{2}, \text{ et } I = \frac{bh^3 - b'h'^3}{12},$$

et les formules (1) et (2) deviennent

$$PL = \frac{R(bh^3 - b'h'^3)}{6h};$$

e

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{E(bh^3 - b'h'^3)f}{12}, \text{ d'où } f = \frac{4PL^3}{E(bh^3 - b'h'^3)}.$$



Si le solide, au lieu d'être évidé au milieu, l'était latéralement, comme l'indique la figure 22, on aurait encore

$$n = \frac{h}{2} \text{ et } I = \frac{bh^3 - b'h'^3}{12};$$

et par suite

$$PL = \frac{R(bh^3 - b'h'^3)}{6h},$$

et

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{E(bh^3 - b'h'^3)f}{12}, \text{ d'où } f = \frac{4PL^3}{E(bh^3 - b'h'^3)}.$$



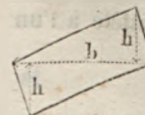
La section transversale ayant la forme d'un T, comme l'indique la *fig. 23*, on a

$$n = \frac{1}{2} \times \frac{bh^2 - b'h'^2 + b'h^2}{bh - b'h' + b'h},$$

et

$$PL = \frac{R}{3} \times \frac{bn^3 - (b-b')(n-h)^3 + b'(h-n)^3}{h-n}.$$

Fig. 24.



La section du solide étant un parallélogramme (*fig. 24*) dont la diagonale b est perpendiculaire à la direction de la force P , on a

$$n = h \text{ et } I = \frac{bh^3}{6};$$

les formules (1) et (2) deviennent

$$PL = \frac{Rbh^2}{6},$$

et

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{Ebh^3f}{6}, \text{ d'où } f = \frac{2PL^3}{Ebh^3}.$$

Si la section était un carré ayant q pour côté, on aurait $b = \frac{2q}{\sqrt{2}}$

et $h = \frac{q}{\sqrt{2}}$, et ces valeurs, substituées dans les formules précédentes, donneraient

$$PL = \frac{Rq^3}{6\sqrt{2}},$$

et

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{Eq^3f}{12}, \text{ d'où } f = \frac{4PL^3}{Eq^3}.$$

Fig. 25.



La flèche est la même que si la pièce était fléchie dans le sens des côtés de la section (voir cas, page 208).

Si la section est un losange ABCD (fig. 25), les formules sont les mêmes que pour le parallélogramme (fig. 24).

Pour une section triangulaire ABD, moitié du losange (fig. 25), on aurait, b étant toujours égal à AC, et h à $\frac{BD}{2}$,

$$PL = \frac{Rbh^2}{12},$$

et

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{Ebh^3f}{12}, \text{ d'où } f = \frac{4PL^3}{Ebh^3};$$

les valeurs des moments sont égales aux moitiés de celles données pour le losange entier.

Lorsque la section du solide est un triangle ABC (fig. 25), et que la ligne d'inertie ou des fibres invariables MN est parallèle à l'un des côtés, on a

$$n = \frac{2}{3}h \text{ et } I = \frac{1}{36}bh^3;$$

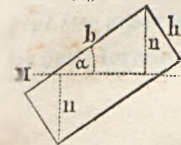
d'où on conclut, en substituant ces valeurs dans les formules (1) et (2),

$$PL = \frac{Rbh^2}{24},$$

et

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{Ebh^3f}{36}, \text{ d'où } f = \frac{12PL^3}{Ebh^3}.$$

Fig. 26.



La section du solide étant un rectangle disposé de manière que la ligne d'inertie MN fasse avec le côté b un angle α (fig. 26), on a

$$n = \frac{1}{2}(b \sin \alpha + h \cos \alpha) \text{ et } I = \frac{Rbh}{12}(b^2 \sin^2 \alpha + h^2 \cos^2 \alpha);$$

d'où on conclut, pour les formules (1) et (2),

$$PL = \frac{Rbh}{6} \times \frac{b^2 \sin^2 \alpha + h^2 \cos^2 \alpha}{b \sin \alpha + h \cos \alpha},$$

et

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{Ebhf}{12}(b^2 \sin^2 \alpha + h^2 \cos^2 \alpha), \text{ d'où } f = \frac{4PL^3}{Ebh(b^2 \sin^2 \alpha + h^2 \cos^2 \alpha)}.$$

Si $\alpha = 0$, on a $\sin \alpha = 0$, $\cos \alpha = 1$, et par suite

$$PL = \frac{Rbh^2}{6},$$

et

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{Ebh^3f}{12}, \text{ d'où } f = \frac{4PL^3}{Ebh^3};$$

valeurs déjà trouvées (page 207) pour la section rectangulaire, quand la pièce est fléchie dans le sens des côtés de cette section.

La section du solide étant un cercle de rayon r , on a

$$n = r \text{ et } I = \frac{\pi r^4}{4};$$

ce qui donne, pour les formules (1) et (2),

$$PL = \frac{R\pi r^3}{4},$$

et

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{E\pi r^3f}{4}, \text{ d'où } f = \frac{4PL^3}{3E\pi r^3}.$$

De ce qui précède, il résulte que le moment de rupture du carré est à celui du cercle inscrit, dans le rapport de 1 à $\frac{3\pi}{16}$.

Si le solide est un cylindre creux, r' étant son rayon extérieur et r'' son rayon intérieur, on a

$$n = r' \quad \text{et} \quad I = \frac{\pi}{4}(r'^4 - r''^4);$$

d'où on conclut, pour les formules (1) et (2),

$$PL = \frac{R\pi(r'^4 - r''^4)}{4r'},$$

et

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{\pi E f}{4}(r'^4 - r''^4), \quad \text{d'où} \quad f = \frac{4PL^3}{3\pi E(r'^4 - r''^4)}.$$

Pour un solide à section elliptique dont $2h$ est l'axe vertical et $2b$ l'axe horizontal, on a

$$n = h \quad \text{et} \quad I = \frac{\pi}{4}bh^3;$$

et les formules (1) et (2) deviennent

$$PL = \frac{R\pi bh^3}{4},$$

et

$$\frac{PL^3}{3} = \frac{E\pi bh^3 f}{4}, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{4PL^3}{3E\pi bh^3}.$$

164. Si la pièce repose sur un appui placé en un des points de sa longueur, et qu'elle soit sollicitée à ses extrémités par deux forces qui se font équilibre autour de ce point d'appui, on a, pour une pièce prismatique à section rectangulaire,

$$\frac{pm + qn}{2} = \frac{Rbh^3}{6}. \quad (\text{N}^\circ 163, \text{ page } 207.)$$

m bras de levier de la force p qui sollicite une des extrémités de la pièce ;
 n bras de levier de la force q qui sollicite l'autre extrémité de la pièce ;
 $m+n=L$ longueur de la pièce ;
 $p+q=P$ charge totale que supporte la pièce.

Si le point d'appui est au milieu de la longueur de la pièce, on

a $m = n = \frac{L}{2}$, par suite, $p = q = \frac{P}{2}$; et la formule précédente devient

$$\frac{PL}{4} = \frac{Rbh^3}{6}.$$

165. La charge sollicitant une pièce prismatique encastrée par une de ses extrémités, au lieu d'être appliquée à l'extrémité de la pièce, peut être répartie uniformément sur toute sa longueur. Dans ce cas, les deux formules fondamentales (1) et (2) du n° 163 deviennent

$$pL \times \frac{L}{2} = \frac{RI}{n} \quad \text{ou} \quad \frac{pL^2}{2} = \frac{RI}{n}, \quad (1)$$

et

$$\frac{1}{8}pL \times L^3 = EIf \quad \text{ou} \quad \frac{pL^4}{8} = EIf. \quad (2)$$

Les lettres L , R , I , n , E et f ont les mêmes significations qu'au n° 163;

p charge par mètre de longueur de la pièce; c'est, par exemple, le poids de chaque mètre de longueur de la pièce;

pL charge totale;

$\frac{L}{2}$ bras de levier de la résultante du poids total pL .

En comparant la formule précédente (1) avec la formule analogue (1) du n° 163, on voit qu'une même pièce peut supporter une charge totale pL répartie uniformément sur toute sa longueur, double de la charge P qu'elle supporte quand P est appliquée à l'extrémité de sa longueur; et en comparant la formule précédente (2) avec la formule analogue (2) du n° 163, on voit qu'une même pièce donne, pour une même charge, une flèche f qui n'est, pour le cas où la charge est uniformément répartie, que les $\frac{3}{8}$ de celle produite par la même charge appliquée à l'extrémité de la pièce; ce qui revient à dire que pour produire une même flèche, la charge uniformément répartie doit être au poids unique appliqué à l'extrémité de la pièce, dans le rapport de 8 à 3.

En remplaçant, dans les formules (1) et (2), n et I par les différentes valeurs qui conviennent aux formes des sections transversales des pièces, on obtiendra des formules semblables à celles obtenues n° 163: ainsi, pour une pièce prismatique à section rectangulaire, on aura

$$\frac{pL^2}{2} = \frac{Rbh^2}{6},$$

et

$$\frac{pL^4}{8} = \frac{Ebh^3f}{12}, \text{ d'où } f = \frac{3pL^4}{2Ebh^3}.$$

166. La pièce peut être chargée d'un poids P appliqué à son extrémité, et d'un poids pL réparti uniformément sur toute sa longueur. (Ce cas se présente particulièrement toutes les fois qu'outre le poids P , on est obligé de tenir compte du poids de la pièce prismatique.) Dans ce cas, les formules (1) et (2) (nos 163 et 165) deviennent, en conservant aux mêmes lettres les mêmes significations,

$$PL + \frac{pL^2}{2} = \frac{RI}{n} \text{ ou } \left(P + \frac{pL}{2}\right)L = \frac{RI}{n}, \quad (1)$$

et

$$\frac{PL^3}{3} + \frac{pL^4}{8} = EIf \text{ ou } \left(\frac{P}{3} + \frac{pL}{8}\right)L^3 = EIf. \quad (2)$$

En remplaçant n et I par les valeurs qui conviennent aux sections des pièces, on obtiendrait des formules semblables à celles des nos 163 et 165 : ainsi, pour une pièce à section rectangulaire, on a

$$\left(P + \frac{pL}{2}\right)L = \frac{Rbh^2}{6},$$

et

$$\left(\frac{P}{3} + \frac{pL}{8}\right)L^3 = \frac{Ebh^3f}{12}, \text{ d'où } f = \frac{12\left(\frac{P}{3} + \frac{pL}{8}\right)L^3}{Ebh^3}.$$

167. Pièce reposant sur deux appuis placés à ses extrémités. Supposons d'abord que l'on puisse négliger le poids de la pièce, et qu'elle soit chargée d'un poids P placé au milieu de sa longueur. Dans ce cas, la pièce travaille comme si elle était encastrée au milieu de sa longueur, et sollicitée à chacune de ses extrémités par une force égale à $\frac{P}{2}$; toutes les formules posées au n° 163 se reproduiront donc, dans ce cas, en y remplaçant seulement P par $\frac{P}{2}$ et L par $\frac{L}{2}$; ainsi, pour une pièce prismatique, les deux formules fon-

damentales (1) et (2) seront, en conservant aux lettres les mêmes significations,

$$\frac{PL}{4} = \frac{RI}{n}, \quad (1)$$

et

$$\frac{PL^3}{48} = EIf. \quad (2)$$

Comparant ces formules avec celles (1) et (2) obtenues n° 163, on voit qu'une même pièce supporte, dans le cas où elle repose sur deux appuis, une charge quatre fois plus grande que quand elle est seulement encastrée par une extrémité et chargée à l'autre; et que, pour un même poids, la flèche est seize fois plus petite.

Remplaçant n et I par les valeurs qui conviennent aux sections transversales des pièces, on obtiendra des formules semblables à celles posées au n° 163 : ainsi, pour une pièce à section rectangulaire, on a

$$\frac{PL}{4} = \frac{Rbh^2}{6},$$

et

$$\frac{PL^3}{48} = \frac{Ebh^3f}{12}, \text{ d'où } f = \frac{PL^3}{4Ebh^3}.$$

168. Si la charge est uniformément répartie sur toute la longueur de la pièce, p étant la charge par mètre de longueur, la charge totale est pL dont la moitié est $\frac{pL}{2}$, et les formules fondamentales (1) et (2) (167) deviennent

$$\frac{pL^2}{8} = \frac{RI}{n}, \quad (1)$$

et

$$\frac{1}{48} \times \frac{5}{8} pL^4 = EIf. \quad (2)$$

Ces formules font voir que le poids pL est double de celui supporté par la même pièce chargée en son milieu, et que la flèche est les $\frac{5}{8}$ de celle produite par le même poids appliqué au milieu de la longueur de la pièce.

Pour une pièce prismatique à section rectangulaire, on a, en remplaçant n et I qui conviennent à cette section (163),

$$\frac{pL^3}{8} = \frac{Rbh^2}{6},$$

et

$$\frac{1}{48} \times \frac{5}{8} pL^3 = \frac{Ebh^3 f}{12}, \text{ d'où } f = \frac{5}{4Ebh^3} pL^3.$$

169. Si la pièce était chargée d'un poids P au milieu de sa longueur, et d'un poids p par mètre, réparti uniformément sur sa longueur, on aurait (167 et 168)

$$\frac{PL}{4} + \frac{pL^2}{8} = \left(P + \frac{pL}{2}\right) \frac{L}{4} = \frac{RI}{n}, \quad (1)$$

et

$$\frac{PL^3}{48} + \frac{1}{48} \times \frac{5}{8} pL^3 = \left(P + \frac{5}{8} pL\right) \frac{L^3}{48} = EIf. \quad (2)$$

Pour une pièce prismatique à section rectangulaire, on a donc, en remplaçant n et I par leurs valeurs (163),

$$\left(P + \frac{pL}{2}\right) \frac{L}{4} = \frac{Rbh^2}{6},$$

et

$$\left(P + \frac{5}{8} pL\right) \frac{L^3}{48} = \frac{Ebh^3 f}{12}, \text{ d'où } f = \frac{\left(P + \frac{5}{8} pL\right) L^3}{4Ebh^3}.$$

170. La pièce reposant toujours sur deux appuis, il peut arriver que le poids unique P , qu'elle supporte, soit placé en un point quelconque de sa longueur. On a alors

$$\frac{Pl'}{L} = \frac{RI}{n}. \quad (1)$$

l et l' distances du point d'application de P aux appuis, $l+l'=L$.

Pour une pièce à section rectangulaire, on a, en remplaçant n et I par leurs valeurs (163),

$$\frac{Pl'}{L} = \frac{Rbh^2}{6}.$$

Si le poids était appliqué au milieu de L , on aurait $l = l' = \frac{L}{2}$,

et cette valeur substituée dans ces deux dernières formules, reproduirait les formules déjà trouvées pour ce cas au n° 167.

La pièce étant chargée, en outre du poids P placé en un point quelconque de sa longueur, d'un poids p par mètre, réparti uniformément, on a

$$\left(P + \frac{pL}{2}\right) \frac{l'}{L} = \frac{RI}{n}. \quad (1)$$

Et pour une pièce à section rectangulaire, cette formule devient, en remplaçant n et I par leurs valeurs (163),

$$\left(P + \frac{pL}{2}\right) \frac{l'}{L} = \frac{Rbh^2}{6}.$$

Pour $l = l' = \frac{L}{2}$, c'est-à-dire pour le cas où P est placé au milieu de la longueur de la pièce, ces deux formules fournissent celles trouvées pour cette manière d'être chargée de la pièce (169).

171. Pièce prismatique dont une extrémité est encastrée, tandis que l'autre repose librement sur un appui. Représentons par

- P un poids placé en un point quelconque de la pièce;
- p une charge par mètre, répartie uniformément sur la longueur de la pièce;
- L la longueur de la pièce;
- l et l' les distances respectives du point d'application du poids P , au point d'encastrement et au point d'appui;
- q la pression exercée par la pièce sur le point d'appui.

Pour un point quelconque pris sur l , on a, en désignant par x sa distance au point d'encastrement, et en supposant que la section de la pièce est rectangulaire,

$$\frac{RI}{n} = \frac{Rbh^2}{6} = P(l-x) + \frac{p}{2}(L-x)^2 - q(L-x). \quad (a).$$

Si le point est pris sur l' , et à une distance x' du point d'encastrement, le moment de rupture est, en supposant la pièce à section rectangulaire,

$$\frac{RI}{n} = \frac{Rbh^2}{2} = \frac{p}{2}(L-x')^2 - q(L-x').$$

On a

$$q = \frac{3pL}{8} + \frac{Pl^2}{2L^2}(3L - l).$$

Suivant que P ou p sera nul, la valeur de q se réduira respectivement au premier ou au deuxième terme du second membre de cette équation : ainsi, supposant P = 0, on a

$$q = \frac{3pL}{8},$$

et la formule (a) devient

$$\frac{RI}{n} = \frac{Rbh^2}{6} = \frac{p}{2}(L-x)^2 - \frac{3pL}{8}(L-x) = \frac{p}{2}(L-x)\left(\frac{L}{4} - x\right). \quad (b)$$

Ce qui fait voir que pour les points qui donnent $x = L$ et $x = \frac{L}{4}$, le moment de rupture est nul : ainsi, pour le point qui repose sur l'appui et pour celui situé à la distance $x = \frac{L}{4}$ du point d'encastrement, la charge p pourrait être infinie; ce dernier point est celui d'inflexion de la pièce c'est le point analogue au point M (fig. 27, n° 172).

Le point de plus grande flexion, c'est-à-dire le point où la flèche est la plus grande, est à une distance $x = \frac{5}{8}L$ du point d'encastrement. Cette valeur de x, substituée dans la formule (b), donne

$$\frac{RI}{n} = \frac{Rbh^2}{6} = \frac{9}{128}pL^2$$

La formule (b) fait voir aussi que le moment de rupture est d'autant plus grand que x est plus petit, et que pour $x = 0$, c'est-à-dire pour le point d'encastrement, on a

$$\frac{RI}{n} = \frac{Rbh^2}{6} = \frac{pL^2}{8} = \frac{16}{128}pL^2.$$

Cette valeur de $\frac{RI}{n}$, comparée à la précédente, fait voir qu'une pièce prismatique fatigue plus au point d'encastrement qu'au point même de plus grande flèche.

Cette plus grande flèche est donnée par la formule

$$EIf = 0.0067pL^2, \text{ d'où } f = \frac{0.0067pL^2}{EI}.$$

172. Pièce prismatique encastrée par ses deux extrémités. Soit fig. 27.

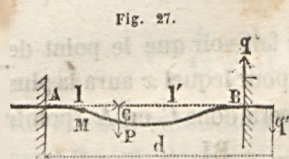


Fig. 27.

P un poids placé en un point quelconque C de la pièce;

p une charge par mètre, répartie uniformément sur toute la longueur de la pièce;

$L = l + l'$ la longueur de la pièce entre les encastrements;

l et l' les distances respectives du point C aux points d'encastrement A et B;

q et q' les forces verticales capables de produire le même effet que l'encastrement, c'est-à-dire de maintenir horizontal l'élément B de la pièce;

d la distance de l'encastrement A à l'extrémité opposée de la pièce;

x distance horizontale d'un point quelconque de la partie AC au point A;

x' distance horizontale d'un point quelconque de CB au point A.

On a, pour un point pris sur AC,

$$\frac{RI}{n} = P(l-x) + \frac{p}{2}(L-x)^2 - q(L-x) + q'(d-x). \quad (a)$$

Si le point est pris sur CB, on a

$$\frac{RI}{n} = \frac{p}{2}(L-x')^2 - q(L-x') + q'(d-x').$$

Pour une pièce rectangulaire en x, on a $\frac{RI}{n} = \frac{Rbh^2}{6}$ (163).

Lorsque $x = x' = l$, les deux valeurs précédentes du moment d'inertie deviennent égales; ce qui devait être, puisqu'alors x et x' se rapportent au même point C de la pièce.

On a

$$\frac{qL^2}{2} - q'L\left(d - \frac{L}{2}\right) = \frac{pL^3}{6} + \frac{Pl^2}{2}; \quad (b)$$

et

$$\frac{qL^2}{3} + \frac{q'L^2}{2}\left(d - \frac{L}{3}\right) = \frac{pL^3}{8} + \frac{Pl^2}{2}\left(L - \frac{l}{3}\right). \quad (c)$$

Ces deux équations serviront à déterminer q et q' : ainsi de la première on tirera la valeur de q en fonction de q', on substituera

cette valeur dans la deuxième, qui donnera la valeur numérique de q' ; et cette valeur numérique étant substituée dans la première équation qui ne renfermera plus que l'inconnue q , on pourra tirer la valeur de cette inconnue.

Dans le cas où p est nul, la formule (a) devient

$$\frac{RI}{n} = Pl - qL + q'd - (P - q + q')x.$$

Cette équation du premier degré en x fait voir que le point de plus grande fatigue de la pièce sera celui pour lequel x aura la plus grande valeur l , ou la plus petite 0; ce sera donc C ou A, points pour lesquels les valeurs respectives S et S' de $\frac{RI}{n}$ deviennent

$$S = q'd - qL + (q - q')l \quad \text{et} \quad S' = Pl - qL + q'd.$$

Faisant $p = 0$ dans les équations (b) et (c), on en conclut

$$q = \frac{Pl^2(3Ld - 2L^2 + lL - 2ld)}{L^3(d-L)} \quad \text{et} \quad q' = \frac{Pl^2(L-l)}{L^2(d-L)}.$$

Les moments S et S' deviennent, en remplaçant q et q' par ces valeurs,

$$S = -\frac{2Pl^2(L-l)^2}{L^3} \quad \text{et} \quad S' = \frac{Pl(L-l)^2}{L^2}.$$

Faisant les calculs, on verra quelle sera la plus grande de ces valeurs, et ce sera pour elle qu'il faudra prendre les dimensions de la pièce. Pour avoir les moments de la partie CB, il suffit de remplacer l par l' dans les équations précédentes.

Si le poids P est placé au milieu de la longueur de la pièce, c'est-à-dire si $l = \frac{L}{2}$, on a

$$S = S' = \frac{RI}{n} = \frac{PL}{8}.$$

Ce qui fait voir que la charge que peut supporter la pièce, est double de celle qu'elle supporte quand elle repose simplement sur deux appuis (167).

La flèche est donnée par la formule

$$EI f = \frac{PL^3}{192}, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{PL^3}{192EI}. \quad (163)$$

Ce qui fait voir que la flèche est quatre fois plus petite que quand la pièce repose simplement sur deux appuis (167).

Pour le point d'inflexion M on a $x = \frac{L}{4}$.

Si $P = 0$, et que la pièce soit uniformément chargée d'un poids p , par mètre de longueur, des deux équations (b) et (c) on conclut

$$q = \frac{1}{12} \frac{pL}{d-L} (6d - 5L) \quad \text{et} \quad q' = \frac{1}{12} \frac{pL^2}{d-L};$$

ces valeurs, substituées dans la formule (a) où on suppose également $P = 0$, donnent

$$\frac{RI}{n} = \frac{1}{12} p(L^2 - 6Lx + 6x^2) = \frac{p}{2} \left[\left(\frac{L}{2} - x \right)^2 - \frac{L^2}{12} \right].$$

Ce qui fait voir que la valeur maxima du moment de rupture correspond à $x = 0$, c'est-à-dire au point A pour lequel on a par conséquent

$$\frac{RI}{n} = \frac{pL^2}{12}.$$

On voit aussi que ce moment diminue à mesure que x augmente, et qu'il est égal à 0 quand

$$\left(\frac{L}{2} - x \right)^2 = \frac{L^2}{12}, \quad \text{c'est-à-dire, quand } x = 0,212L.$$

A partir de $x = 0,212L$, le moment de rupture devient négatif, et sa valeur absolue croît jusqu'au point milieu de la pièce, point pour lequel $x = \frac{L}{2}$, et on a par suite

$$\frac{RI}{n} = \frac{pL^2}{24}.$$

Tout étant symétrique par rapport au point milieu de la pièce, au delà de ce point le moment de rupture repasse par les mêmes valeurs.

La flèche est donnée par la formule

$$EI f = \frac{1}{48} \times \frac{1}{8} pL^4, \quad \text{d'où} \quad f = \frac{pL^4}{384EI}.$$

Ainsi la flèche n'est que le $\frac{1}{5}$ de celle qui a lieu, pour le même poids, quand la pièce repose librement sur deux appuis (168).

173. *Formules pratiques relatives aux tourillons.* Des expériences de Buchanan, il résulte que le diamètre d'un tourillon en fonte est, pour résister à la flexion, donné par la formule

$$d = K \sqrt[3]{\frac{P}{4}}$$

et celui des tourillons en fer par celle

$$d = K \sqrt[3]{\frac{9}{14} P} = 0,863 K \sqrt[3]{P}.$$

- d diamètre du tourillon, en centimètres ;
 K coefficient variable de 0,87 à 0,95 d'après les observations de Buchanan, et de 0,71 à 0,85 d'après celles de Tredgold. On pourra considérer la valeur maxima de Buchanan comme convenable aux tourillons soumis à des réactions brusques comme ceux des arbres à cames ; on pourra la réduire à 0,85 pour les roues hydrauliques, et à 0,80 pour les tourillons entretenus propres et bien graissés ;
 P pression exercée par le tourillon sur son coussinet, exprimée en kilogrammes.

Ces deux formules font voir que la résistance à la flexion d'un tourillon en fonte, est à celle d'un tourillon en fer de même diamètre, dans le rapport de 9 à 14 ; et si on fait $K = 0,80$ pour la fonte, le diamètre d'un tourillon en fer sera donné par la formule

$$d = 0,80 \times 0,863 \sqrt[3]{P} = 0,69 \sqrt[3]{P}.$$

La longueur convenable des tourillons est, d'après Tredgold, égale à 1,2 fois le diamètre ; ce sont, en effet, les proportions généralement adoptées en pratique, à l'exception des tourillons en fer, dont le diamètre est inférieur à 0^m,07, pour lesquels la longueur se prend le plus souvent égale 1,5 fois le diamètre.

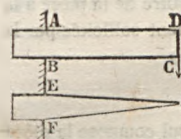
174. *Solides d'égale résistance.* Quand une pièce est encastree par une extrémité, et chargée à l'autre d'un poids P , le moment de cette force P , pour rompre la pièce en un point quelconque, est d'autant plus petit que ce point est plus éloigné de l'encastrement ; de là résulte que pour ne pas employer de matière inutile, les sections transversales de la pièce doivent aller en diminuant depuis

l'encastrement jusqu'au point d'application du poids, point où la section devient nulle.

La formule $PL = \frac{Rbh^2}{6}$, donnée pour une pièce rectangulaire (163), est applicable à un point quelconque de la longueur de la pièce, L représentant la distance de ce point à celui d'application de la force P ; alors, supposant que la hauteur h reste constante, et résolvant l'équation par rapport à b , on aura, pour une valeur quelconque l de L ,

$$b = \frac{6P}{Rh^2} l.$$

Fig. 28.

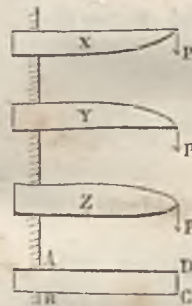


Ce qui fait voir que la largeur du solide sera proportionnelle à l ; ainsi le solide étant représenté en élévation par le rectangle ABCD (fig. 28), dont la dimension $AB = h$, il le sera en plan par le triangle EFG.

Supposant au contraire que la largeur b reste constante, et résolvant l'équation par rapport à h , on aura, pour une valeur quelconque l de L ,

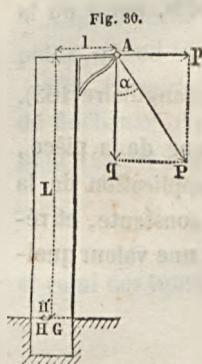
$$h^2 = \frac{6P}{Rb} l.$$

Fig. 29.



C'est-à-dire que le carré de la hauteur h sera proportionnel à l ; et la pièce qui est représentée en plan par le rectangle ABCD (fig. 29), dont la dimension $AB = b$, le sera en élévation par l'une quelconque des trois formes paraboliques X, Y, Z, dont le sommet est au point d'application de la force P .

On peut, en opérant d'une manière analogue, déterminer la forme des solides d'égale résistance pour toutes les manières dont peuvent reposer les solides, et quelle que soit la manière dont ils sont chargés.



175. Pièce soumise à une force P appliquée en un point quelconque A de la pièce, et faisant avec la direction de cette pièce un angle α . La force P se décompose en deux, l'une $P \sin \alpha = p$ normale à la direction de la pièce, et l'autre $P \cos \alpha = q$ dirigée suivant la direction de la pièce.

La direction de la force q ne passant pas au centre de gravité G de la section de rupture, la ligne des fibres invariables se trouvera au point H différent de G , et en appelant

- n la distance du point le plus éloigné de la section de rupture de la pièce à la ligne des fibres invariables, quand la pièce est seulement sollicitée par la force p ; cette ligne passe alors par le point G (163);
 n' la distance HG ;
 S la section de la pièce;
 R le plus grand effort auquel peut être soumise la matière qui compose la pièce (163);
 I le moment d'inertie de la section transversale de la pièce (163);
 L la longueur de la pièce ou le bras de levier de la force p ;
 l le bras de levier de la force q ;
 E le coefficient d'élasticité (163);
 f la flèche produite;

on a

$$n' = \frac{qI}{(pL + ql)S}$$

On a aussi

$$\frac{R}{n + n'} I = pL + ql,$$

d'où on conclut, en remplaçant n' par sa valeur précédente,

$$\frac{RI}{n} = pL + ql + \frac{qI}{nS}.$$

Si la section de la pièce est rectangulaire, on a (163)

$$n = \frac{h}{2} \text{ et } I = \frac{bh^3}{12},$$

et par suite, en remarquant que $S = bh$,

$$\frac{RI}{n} = \frac{Rbh^2}{6} = pL + ql + \frac{qh}{6}.$$

Formule à l'aide de laquelle on déterminera la charge que pourra supporter une pièce de dimensions déterminées, ou ces dimensions pour supporter une charge donnée.

Dans le cas où $q = 0$, la formule précédente devient

$$\frac{RI}{n} = \frac{Rbh^2}{6} = pL.$$

Ce que l'on devait trouver, puisqu'alors la pièce n'est plus soumise qu'à un effort p normal à sa longueur (163). Si au contraire on a $p = 0$, et que la pièce soit seulement chargée d'un poids q , on a

$$\frac{RI}{n} = \frac{Rbh^2}{6} = q \left(l + \frac{h}{6} \right).$$

Dans les formules précédentes, on a négligé la flèche produite, ce que l'on peut faire en pratique; mais il faudrait, pour plus d'exactitude, l'ajouter à l .

On a, en négligeant f par rapport à l ,

$$f = \frac{L^3}{EI} \left(\frac{pL}{3} + \frac{ql}{2} \right) = \frac{12L^2}{Ebh^3} \left(\frac{pL}{3} + \frac{ql}{2} \right).$$

Si $q = 0$, on a

$$f = \frac{pL^3}{3EI} = \frac{4pL^3}{Ebh^3}. \quad (\text{Comme au n° 163.})$$

Si au contraire $p = 0$, on a

$$f = \frac{qlL^2}{2EI} = \frac{6qlL^2}{Ebh^3}.$$

176. Résistance à la torsion. Lorsqu'un prisme est soumis à un effort de torsion, tant qu'on n'a pas dépassé la limite d'élasticité, le rapport de cet effort à l'angle de torsion est à peu près constant pour une même matière. Désignant par G ce rapport, par Q l'effort, et par θ l'angle de torsion; pour une tige ayant l'unité de longueur et l'unité de section, on aura $\frac{Q}{\theta} = G$ que l'on peut appeler coefficient de torsion.

Pour un cylindre plein, de rayon et de longueur quelconques, soumis à un effort qui tend à le tordre, on a

$$PR = Gt \frac{\pi r^4}{2L}, \quad \text{d'où } t = \frac{2PRL}{G\pi r^4}. \quad (a)$$

Et le moment de rupture est

$$PR = \frac{T\pi r^3}{2}. \quad (c)$$

- P** effort de torsion agissant dans un plan normal à l'axe de torsion ;
R bras de levier de la force P, ou distance de son point d'application à l'axe de torsion ;
t angle de torsion ;
r rayon du cylindre ;
L longueur du cylindre ;
T coefficient constant ou plus grand effort de torsion auquel on peut soumettre les fibres qui composent le cylindre.

La formule (c) servira à calculer les dimensions à donner au cylindre pour résister à un effort de torsion donné, et réciproquement. Cette formule fait voir aussi que la résistance à la rupture d'une pièce prismatique homogène, est indépendante de la longueur L de la pièce ; au lieu que, comme le fait voir la formule (a), l'angle de torsion t est proportionnel à L.

Pour un cylindre creux, les formules précédentes deviennent

$$PR = Gt \frac{\pi}{2L} (r^4 - r'^4), \quad \text{d'où } t = \frac{2PRL}{G\pi(r^4 - r'^4)},$$

et

$$PR = \frac{T\pi}{2} \frac{r^4 - r'^4}{r}.$$

- r** rayon extérieur du cylindre ;
r' rayon intérieur. Les arbres ainsi faits sont en fonte, et assez ordinairement l'épaisseur $r - r' = \frac{2}{5} r$.

Pour un prisme à section rectangulaire, on a

$$PR = \frac{Gt}{12L} bh(b^2 + h^2), \quad \text{d'où } t = \frac{12PRL}{Gbh(b^2 + h^2)},$$

et

$$PR = \frac{Tbh(b^2 + h^2)}{6\sqrt{b^2 + h^2}}.$$

b et h côtés de la section rectangulaire.

Si la section du prisme est un carré, c'est-à-dire si $b = h = q$ côté de la section, on a

$$PR = \frac{Gt}{6L} q^4, \quad \text{d'où } t = \frac{6PRL}{Gq^4},$$

et

$$PR = \frac{Tq^3}{3\sqrt{2}}.$$

D'après les expériences de M. Duleau, t étant exprimé par le rapport de l'arc de torsion au rayon de cet arc, on a, quand on prend le kilogramme et le mètre pour unités,

$$G = 5\,600\,000\,000 \text{ pour le fer rond ;}$$

$$G = 5\,500\,000\,000 \text{ pour le fer carré ;}$$

Si θ est exprimé en degrés sexagésimaux, on a

$$G = 115\,000\,000 \text{ pour le fer rond ;}$$

$$G = 98\,000\,000 \text{ pour le fer carré.}$$

On ne connaît pas les valeurs de G pour les autres matériaux ; seulement, d'après une expérience de Savart, on pourrait admettre pour le bois $G = 13\,800\,000$.

Les expériences faites jusqu'à présent ne permettent pas d'assigner à T des valeurs certaines.

D'après Navier, la valeur de T correspondant à la rupture, varie, pour la fonte, de 20 000 000 à 41 000 000, suivant les qualités de la fonte. M. Morin suppose, en application, $T = 1\,340\,000$; c'est le 1/15 de la valeur correspondant à la résistance absolue de la fonte de qualité inférieure.

177. *Formule pratique.* On peut se servir, pour déterminer le diamètre à donner aux pièces cylindriques soumises à un effort de torsion, de la formule

$$d^3 = K \frac{A}{n}.$$

- K coefficient dont la valeur dépend de la nature de la pièce ;
 d diamètre de la pièce en centimètres ;
 A quantité d'action transmise par la pièce en une minute, exprimée en kilogrammètres ;
 n nombre de tours que fait la pièce en une minute ;

Pour un arbre creux, la quantité d'action A qu'il peut transmettre est égale à celle que pourrait transmettre l'arbre s'il était plein, moins celle que pourrait transmettre un arbre plein d'un diamètre égal au diamètre intérieur de l'arbre creux ; d'où il résulte qu'en appelant d le diamètre extérieur de l'arbre creux, et d' son diamètre intérieur, on a

$$d^3 - d'^3 = K \frac{A}{n}.$$

D'après Buchanan, $K = 2,3$ pour les arbres ou tourillons en fonte, et $K = \frac{9}{14} 2,3 = 1,48$ pour les arbres ou tourillons en fer.

Mais, à mesure que les moyens de fabrication se sont perfectionnés, les dimensions des différentes pièces de machine ont dû diminuer ; et, d'après les observations de M. Walter, sur 21 machines construites depuis peu, et dont les arbres ou tourillons en fonte transmettent des effets variant de 5 à 50 chevaux, avec des vitesses de rotation très-variables, mais sans choc, il résulte que, pour la fonte, K varie de 1,10 au minimum, à 1,86 au maximum, et que la valeur moyenne de K est sensiblement 1,6. La valeur 1,10 a été trouvée pour des arbres en bonne fonte anglaise faisant marcher des moulins à blé, mais il convient de ne pas faire K plus petit que 1,25. Quand le travail transmis est irrégulier, mais sans choc ou avec des chocs très-faibles, on pourra considérer la valeur 1,86 de K comme donnant toute la sécurité désirable.

À l'usine de Terre-Noire, pour le tourillon en fonte d'une machine de 35 chevaux commandant un marteau frontal, $K = 5,085$; l'arbre fait 20 tours par minute, et il fonctionne depuis 1823.

Au Creuzot, pour une machine analogue, $K = 7,66$.

En admettant le rapport de la résistance du fer à celle de la fonte, de Buchanan, la valeur moyenne de K pour la fonte étant 1,6, pour

le fer on aura $K = \frac{9}{14} 1,6 = 1,03$; mais, quoique cette valeur soit encore quelquefois dépassée en pratique, il convient de la considérer comme valeur maxima, et ne devant être employée que pour le fer de médiocre qualité et non corroyé : c'est ce qui résulte du tableau suivant dû aux observations de M. Walter.

DÉSIGNATION DES MACHINES.	FORCE transmise par chaque tourillon.	NOMBRE de tours par minute.	DIAMÈTRE des tourillons.	VALEUR de K.
	chevaux.		m.	
Machine du bateau le Sphinx.	30	25	0.16	0.758
<i>Idem.</i> le Montereau. . .	10	30	0.1125	0.944
<i>Idem.</i> la Ville de Corbeil.	10	30	0.11	0.887
<i>Idem.</i> la Ville de Nantes.	12	50	0.105	1.070
Roue hydr. marchant depuis 1833. .	4	10	0.09	0.405
Roue hydraulique commandant une machine à couper le chiffon. . . .	6	8	0.135	0.729
Roue hydraulique de Guérisny. . . .	30	9	0.22	0.709

La roue hydraulique qui donne $K = 0,405$ commande une machine à papier, et produit par conséquent un travail régulier ; les autres valeurs de K correspondent à des travaux irréguliers, et en partie par chocs : ainsi la roue de Guérisny, commandant des laminoirs, agit par chocs, atténués il est vrai par un volant ; et pour les bateaux, les réactions quelquefois très-violentes de l'eau se reportent directement sur les tourillons. On peut donc, suivant que le travail transmis par l'arbre, a plus ou moins d'analogie avec celui des machines du tableau, considérer les valeurs 0,405, 0,709 et 0,758 de K comme suffisantes. Lorsqu'un arbre n'est soumis qu'à un effort de torsion, il suffit que son diamètre soit égal à celui du tourillon (176) ; mais, en pratique, il convient de le prendre de $1/10$ à $1/8$ plus grand.

Pour le bois, M. Faure rapporte :

1° Que des arbres à 8 pans, de roues hydrauliques, transmettant un effort régulier sans choc, et marchant depuis longtemps sans éprou-

ver de torsion sensible, lui ont donné, pour K , les nombres 17, 19 et 25 dont la moyenne est 20 environ.

2° Que des arbres de transmission de mouvement à des laminoirs, également à 8 pans, lui ont donné $K = 50$ en moyenne; et même l'un de ces arbres, se tordant un peu il est vrai lors de l'engagement des barres de fer, mais n'en résistant pas moins, a donné $K = 42$.

3° Que des arbres ronds de 0^m,80 à 0^m,83 de diamètre, formés de 4 pièces de bois, bien cerclés en fer et entourés de bagues en fonte; mais commandant des marteaux, et étant, par conséquent, soumis à des chocs violents, ont donné $K = 160$, valeur que l'on ne doit pas considérer comme trop grande, puisque l'on remarque encore une légère torsion. Un arbre de 0^m,71 de diamètre, donnant $K = 95$, valeur minima trouvée, se tordait et se fendillait sous les efforts qu'il avait à supporter. La longueur des arbres de marteaux observés, a varié de 6 à 8 mètres.

178. *Arbre soumis à la fois à un effort de flexion et de torsion.* Dans ce cas, on calcule le diamètre de l'arbre pour résister à chacun des efforts séparément (167, 176 et 177), et on prend celle des deux valeurs trouvées qui est la plus grande. Si le plus grand diamètre est donné par l'effort de torsion, on prend le diamètre trouvé pour les tourillons, et on augmente de 1/10 à 1/8 celui de l'arbre.

179. *Dimensions d'un balancier.* On peut considérer un balancier, comme un solide reposant sur un appui placé au milieu de sa longueur et chargé à ses deux extrémités (164); on obtiendra donc ses dimensions, en négligeant les nervures que l'on considère comme garantie de solidité, au moyen de la formule

$$\frac{PL}{2} = \frac{Rbh^2}{6}.$$

- P force réelle qui sollicite chaque extrémité du balancier, en kilog.
 L distance des points d'application des deux forces P ;
 $R = 7000000$ (163); mais qu'il convient, dans ce cas de mouvement, de faire égal au 1/6 de la résistance absolue, ce qui donne $R = 4670000$;
 b épaisseur du balancier, en mètres;
 h hauteur du balancier, au milieu de sa longueur, en mètres.

L'épaisseur b , non compris les nervures, est uniforme sur toute

la longueur du balancier, et varie du 1/12 au 1/16 de la hauteur h ; cependant, pour les bateaux, où on supprime les nervures, b est quelquefois égal au 1/6 et même au 1/5 de h .

La longueur L est ordinairement égale à trois fois la course du piston.

On donne au balancier la forme parabolique (174), et, afin de pouvoir fixer les petits arbres qu'il porte à ses extrémités, on le termine par des manchons dont le rayon extérieur est égal au rayon intérieur multiplié par 5/2; ces manchons sont raccordés avec les arcs de parabole par des tangentes communes droites ou courbes. Au lieu de faire passer les arcs de parabole par les centres des manchons, comme l'indique la théorie, on les fait quelquefois passer par les points extérieurs de ces manchons, c'est-à-dire, par les points extrêmes du balancier. Souvent même, on se contente de tracer des arcs de cercle tangents aux circonférences extérieures des deux manchons, et passant par les points extrêmes de la hauteur h .

La saillie des nervures varie des 2/3 de l'épaisseur b du balancier, à une fois cette épaisseur.

La longueur totale des tourteaux recevant les différents axes fixés au balancier varie de 1,5 fois à 2 fois le diamètre de ces axes.

180. *Dimensions d'une manivelle* (63 et suivants); on peut considérer une manivelle, comme un solide encastré par une de ses extrémités, et sollicité à l'autre par une certaine force; on obtiendra donc ses dimensions, en négligeant les nervures, au moyen de la formule

$$PL = \frac{Rbh^2}{6}. \quad (163)$$

- P force agissant à l'extrémité de la manivelle;
 L longueur de la manivelle;
 $R = 7000000$ (163), mais qu'il convient, comme dans le numéro précédent, de faire égal à 4670000 pour les manivelles en fonte;
 b épaisseur de la manivelle, en mètres;
 h hauteur de la manivelle au point d'encastrement, en mètres.

On fait l'épaisseur b qui est uniforme sur toute la longueur de la manivelle, de 1/6 à 1/5 de h ; seulement on renforce b par une

nervure qui joint les extrémités des manchons que porte la manivelle.

On donne à la manivelle la forme parabolique (174), et on raccorde les deux manchons aux arcs de parabole par des arcs de cercle tangents aux manchons et aux arcs de parabole. Le manchon qui reçoit l'arbre moteur a un rayon extérieur égal à 2 fois ou 2,2 fois le rayon intérieur, et le manchon qui reçoit le maneton, a un rayon extérieur égal à 2,5 fois le rayon intérieur.

La longueur de ces manchons est ordinairement égale à 1,2 fois leur diamètre intérieur.

181. *Dents de roue d'engrenage* (59 et suivants). On peut considérer une dent d'engrenage, comme un solide encastré par une de ses extrémités et sollicité à l'autre par un certain effort; ses dimensions seront donc données par la formule

$$PL = \frac{Rbh^2}{6}. \quad (163)$$

- P** pression que supporte la dent, en kilogrammes; on suppose P égale à la pression totale d'une roue d'engrenage sur l'autre, et appliquée à l'extrémité de la dent, c'est le cas le plus favorable à la rupture;
- L** longueur de la dent, c'est sa saillie sur la jante;
- b** largeur de la dent;
- h** hauteur ou épaisseur de la dent, c'est sa dimension suivant la circonférence de la roue;
- R** = 7000000 (163); mais les dents d'engrenage étant soumises à des chocs, il résulte, des observations de Tredgold, qu'il convient de faire $R = 1500000$ pour les dents en fonte.

Remplaçant R par sa valeur dans la formule précédente, on a

$$PL = 250\ 000bh^2.$$

Cependant, pour des roues faites avec soin et transmettant un effort régulier, on peut poser

$$PL = 300000bh^2.$$

En pratique, on fait $L = 1,2 h$ pour les engrenages qui transmettent de grands efforts, et $L = 1,5 h$ pour ceux qui ne transmettent que de faibles charges.

La valeur de b est comprise entre $6h$ et $3h$, suivant que P est plus ou moins grand; c'est ce que fait voir le tableau suivant.

Valeurs de P en klog.	Valeurs relatives de b et de h.
100 à 250	$b = 3,0h$
250 à 500	$b = 3,5h$
500 à 800	$b = 4,0h$
800 à 1200	$b = 5,0h$
1200 à 2000	$b = 5,5h$
2000 à 3000	$b = 6,0h$

Pour les dents en bois, on peut conserver entre L, b et h les mêmes relations que pour la fonte, et poser

$$PL = 600000bh^2.$$

182. *Jante de roue d'engrenage*. Sa largeur est égale à celle de la dent, et l'expérience prouve que son épaisseur doit être égale à celle h de la dent; on la fait égale aux 2/3 de h quand on la renforce, comme on le fait souvent, par une nervure intérieure dont la saillie est à peu près égale à celle des dents.

Pour les roues soumises à des chocs, ou transmettant des efforts qui exigeraient des valeurs de h trop considérables, on renforce la jante par des joues qui emboîtent aussi les dents, de manière à ne laisser que 0^m,010 ou 0^m,012 de jeu entre les joues de deux roues engrenées; l'épaisseur de ces joues varie de 1/2 aux 2/3 de l'épaisseur h de la dent. L'écartement des deux joues d'une même roue, se fait égal à la largeur b des dents de l'autre roue, plus un jeu de 0^m,006 à 0^m,008.

183. *Bras de roue d'engrenage*. Pour des roues d'engrenage de 1^m,00 de diamètre et au-dessous, il suffit de quatre bras; pour des diamètres de 1^m,50 à 2^m,50, on en emploie six; pour ceux de 2^m,50 à 5^m,00, huit; et pour ceux de 5^m,00 à 7^m,00, dix. Le nombre des bras ne dépend pas seulement du diamètre de la roue, mais aussi des proportions de la couronne qui demande à être d'autant mieux soutenue, soit pour son coulage, soit pour son service, qu'elle est plus légère.

On peut encore, jusqu'à un certain point, considérer un bras comme étant un solide encastré par une extrémité et sollicité à l'autre par une certaine force; ainsi, en supposant que les nervures ne font que résister aux efforts latéraux, on peut encore poser

$$PL = \frac{Rbh^2}{6}. \quad (163)$$

- P** effort tangentiel à la roue, et que la formule suppose n'agir à la fois que sur un seul bras ;
L longueur totale du bras, mesurée depuis le moyeu ;
b épaisseur du bras ; elle varie ordinairement entre $1/4$ et $1/5$ de h ;
h hauteur du bras près du moyeu ; c'est sa dimension suivant la direction de l'effort qui tend à le rompre ;
R = 7000000, comme pour une pièce encastrée par une extrémité (163); M. Morin fait $R = 7500000$, valeur qu'il emploie également pour une pièce de fonte encastrée par une de ses extrémités.

L'épaisseur des nervures est environ les $2/3$ de celle du bras, et l'une et l'autre de ces épaisseurs sont uniformes sur toute la longueur du bras. Les arêtes du bras sont droites, et la hauteur h' , près de la jante, varie entre les $2/3$ et les $3/4$ de la hauteur h , près du moyeu.

La largeur du bras, comptée sur les nervures, se fait à peu près égale à la hauteur h du corps du bras.

DEUXIÈME PARTIE.

Chaleur appliquée aux arts industriels.

POUVOIRS DES CORPS POUR LA CHALEUR.

184. *Pouvoir émissif ou rayonnant.* Tous les corps, quelles que soient leur nature et leur température, jouissent de la propriété d'émettre ou de rayonner de la chaleur. Chaque rayon émané se meut en ligne droite ; et son intensité en un point quelconque, varie pour une même source de chaleur, en raison inverse du carré de la distance de ce point à la source. La quantité plus ou moins grande de chaleur émise ou rayonnée par un corps, est ce que l'on appelle le *pouvoir émissif ou rayonnant* de ce corps.

TABLEAU des valeurs relatives des pouvoirs émissifs ou rayonnants de quelques corps placés dans les mêmes circonstances de température et de milieu environnant.

DÉSIGNATION DES CORPS.	VALEURS relatives des pouvoirs émissifs ou rayonnants, d'après	
	Leslie.	M. Melloni.
Noir de fumée.	100	100
Eau.	100	"
Carbonate de plomb	"	100
Papier à écrire.	98	"
Ivoire, jais, marbre.	"	93 à 98
Colle de poisson.	"	91

DÉSIGNATION DES CORPS.	VALEURS relatives des pouvoirs émissifs ou rayonnants, d'après	
	Leslie.	M. Melloni.
Verre ordinaire.	90	»
Encre de chine.	88	85
Glace.	85	»
Gomme laque.	»	72
Mercure.	20	»
Plomb brillant.	19	»
Fer poli.	15	»
Étain, argent, or.	12	»
Surface métallique.	»	12

Le pouvoir émissif d'une surface métallique est d'autant plus petit que cette surface est mieux polie.

185. *Pouvoirs absorbant et réflecteur.* Lorsqu'un corps poli est rencontré par un rayon de chaleur, il en absorbe une partie et réfléchit l'autre. La portion plus ou moins grande de chaleur absorbée, est ce qu'on appelle le *pouvoir absorbant* de ce corps, et la portion réfléchie est son *pouvoir réflecteur*.

On admet que le pouvoir absorbant d'un corps est égal à son pouvoir émissif, et qu'il est complément de son pouvoir réflecteur : ainsi le pouvoir émissif d'un corps étant 90, son pouvoir absorbant sera 90, et son pouvoir réflecteur 10 ; ces nombres supposent que la quantité totale de chaleur qui vient frapper ce corps est représentée par 100.

TABLEAU des valeurs relatives des pouvoirs réflecteurs de quelques corps, d'après Leslie.

DÉSIGNATION DES CORPS.	VALEURS relatives des pouvoirs réflecteurs.
Cuivre jaune.	100
Argent.	90
Étain en feuille.	80
Acier.	70
Plomb.	60
Étain mouillé de mercure.	10
Verre.	10
Verre huilé.	5
Noir de fumée.	0

D'après M. Melloni, le pouvoir absorbant d'un corps varie bien dans le même sens que le pouvoir émissif; mais, de plus, il est variable, pour un même corps, suivant la nature de la source de chaleur.

TABLEAU des résultats obtenus par M. Melloni.

DÉSIGNATION DES CORPS.	POUVOIRS ABSORBANTS, LA SOURCE DE CHALEUR ÉTANT			
	une lampe.	du platine Incandescent.	du cuivre à 400°	du cuivre à 100°
Noir de fumée.	100	100	100	100
Carbonate de plomb.	53	56	89	100
Colle de poisson.	52	54	64	91
Encre de chine.	96	95	87	85
Gomme laque.	43	47	70	72
Surface métallique.	14	13.5	13	13

186 *Pouvoir conducteur des corps pour la chaleur.* Tous les corps ne conduisent pas également bien la chaleur; c'est ce que fait voir

le tableau suivant des pouvoirs conducteurs relatifs de quelques corps, d'après M. Despretz.

DÉSIGNATION DES CORPS.	POUVOIRS relatifs.	DÉSIGNATION DES CORPS.	POUVOIRS relatifs.
Or.	1000.0	Étain.	303.9
Platine.	981.0	Plomb.	179.5
Argent.	973.0	Marbre.	23.6
Cuivre.	808.2	Porcelaine.	12.2
Fer.	374.3	Terre cuite.	11.4
Zinc.	363.0		

Lorsqu'un corps conduit bien la chaleur, il prend le nom de *bon conducteur de la chaleur*; si au contraire il la conduit mal, il prend le nom de *mauvais conducteur de la chaleur*.

Les corps composés de fibres très-fines, comme le coton, la laine, l'édréon, l'ouate, le son, la paille, le charbon très-divisé, sont les plus mauvais conducteurs de la chaleur. Les liquides et les gaz sont aussi des mauvais conducteurs de la chaleur, aussi, lorsqu'on veut les échauffer, faut-il avoir recours à l'échauffement par contact en produisant des courants dans ces matières; ce que du reste, on obtient naturellement en plaçant le foyer sous les liquides ou les gaz à échauffer. Si on gêne les mouvements des liquides ou des gaz au moyen de corps fibreux, l'échauffement est considérablement retardé.

ÉVALUATION DES TEMPÉRATURES.

187. *Thermomètres.* Ces instruments, fondés sur les variations de volume que font subir aux corps les variations de température, servent à apprécier l'état de chaleur dans lequel se trouvent les corps.

Dans le thermomètre centigrade, le nombre 0° de l'échelle correspond à la température constante de la glace fondante, et le nombre 100°, à la température, aussi constante, de l'ébullition de l'eau pure sous la pression atmosphérique 0^m,76 de mercure. Chaque division du thermomètre représente un degré centigrade.

Dans le thermomètre de Réaumur, le nombre 0° correspond à la glace fondante, et le nombre 80°, à l'eau bouillante.

Dans le thermomètre Fahrenheit, le nombre 32° correspond à la glace fondante, et le nombre 212°, à l'ébullition de l'eau.

Les relations qui existent entre les températures indiquées par ces différents thermomètres, sont :

$$C = \frac{5}{4} R, \quad C = \frac{5}{9} (F - 32) \quad \text{et} \quad R = \frac{4}{9} (F - 32).$$

C température en degrés centigrades ;
 R *id.* Réaumur ;
 F *id.* Fahrenheit.

De ces formules, on conclut les résultats du tableau suivant.

NOMBRES de degrés Réaumur ou Fahrenheit.	TEMPÉRATURES en degrés centigrades, les nombres de la première colonne exprimant des degrés		NOMBRES de degrés Réaumur ou Fahrenheit.	TEMPÉRATURES en degrés centigrades, les nombres de la première colonne exprimant des degrés	
	Réaumur.	Fahrenheit.		Réaumur.	Fahrenheit.
	deg. cent.	deg. cent.		deg. cent.	deg. cent.
-28	-35.00	-33.33	+20	+25.00	-6.67
27	33.75	32.78	21	26.25	6.41
26	32.50	32.22	22	27.50	5.56
25	31.25	31.67	23	28.75	5.00
24	30.00	31.11	24	30.00	4.45
23	28.75	30.56	25	31.25	3.90
22	27.50	30.00	26	32.50	3.34
21	26.25	29.45	27	33.75	2.78
20	25.00	28.89	28	35.00	2.23
19	23.75	28.34	29	36.25	1.67
18	22.50	27.78	30	37.50	1.11
17	21.25	27.23	31	38.75	0.56
16	20.00	26.67	32	40.00	0.00
15	18.75	26.12	33	41.25	+0.56
14	17.50	25.56	34	42.50	1.11
13	16.25	25.01	35	43.75	1.67
12	15.00	24.45	36	45.00	2.23
11	13.75	23.90	37	46.25	2.78
10	12.50	23.34	38	47.50	3.34
9	11.25	22.79	39	48.75	3.90
8	10.00	22.22	40	50.00	4.45
7	8.75	21.67	41	51.25	5.00
6	7.50	21.11	42	52.50	5.56
5	6.25	20.56	43	53.75	6.11
4	5.00	20.00	44	55.00	6.67
3	3.75	19.45	45	56.25	7.23
2	2.50	18.89	46	57.50	7.78
1	1.25	18.34	47	58.75	8.34
0	0.00	17.78	48	60.00	8.89
+1	+1.25	17.23	49	61.25	9.45
2	2.50	16.67	50	62.50	10.00
3	3.75	16.11	51	63.75	10.56
4	5.00	15.56	52	65.00	11.11
5	6.25	15.00	53	66.25	11.67
6	7.50	14.45	54	67.50	12.23
7	8.75	13.90	55	68.75	12.78
8	10.00	13.34	56	70.00	13.34
9	11.25	12.78	57	71.25	13.90
10	12.50	12.23	58	72.50	14.45
11	13.75	11.67	59	73.75	15.00
12	15.00	11.11	60	75.00	15.56
13	16.25	10.56	61	76.25	16.11
14	17.50	10.00	62	77.50	16.67
15	18.75	9.45	63	78.75	17.23
16	20.00	8.89	64	80.00	17.78
17	21.25	8.34	65	81.25	18.34
18	22.50	7.78	66	82.50	18.89
19	23.75	7.23	67	83.75	19.45

NOMBRE de degrés Réaumur, ou Fahrenheit.	TEMPÉRATURES en degrés centigrades, les nombres de la première colonne exprimant des degrés		NOMBRE de degrés Réaumur, ou Fahrenheit.	TEMPÉRATURES en degrés centigrades, les nombres de la première colonne exprimant des degrés	
	Réaumur.	Fahrenheit.		Réaumur.	Fahrenheit.
	deg. cent.	deg. cent.		deg. cent.	deg. cent.
+68	+85.00	+20.00	+115	+143.75	-46.11
69	86.25	20.56	116	145.00	46.67
70	87.50	21.11	117	146.25	47.23
71	88.75	21.67	118	147.50	47.78
72	90.00	22.23	119	148.75	48.34
73	91.25	22.78	120	150.00	48.90
74	92.50	23.34	121	151.25	49.45
75	93.75	23.90	122	152.50	50.00
76	95.00	24.45	123	153.75	50.56
77	96.25	25.00	124	155.00	51.11
78	97.50	25.56	125	156.25	51.67
79	98.75	26.12	126	157.50	52.23
80	100.00	26.67	127	158.75	52.78
81	101.25	27.23	128	160.00	53.34
82	102.50	27.78	129	161.25	53.90
83	103.75	28.34	130	162.50	54.45
84	105.00	28.89	131	163.75	55.00
85	106.25	29.45	132	165.00	55.56
86	107.50	30.00	133	166.25	56.11
87	108.75	30.56	134	167.50	56.67
88	110.00	31.11	135	168.75	57.23
89	111.25	31.67	136	170.00	57.78
90	112.50	32.22	137	171.25	58.34
91	113.75	32.78	138	172.50	58.90
92	115.00	33.33	139	173.75	59.45
93	116.25	33.89	140	175.00	60.00
94	117.50	34.45	141	176.25	60.56
95	118.75	35.00	142	177.50	61.11
96	120.00	35.56	143	178.75	61.67
97	121.25	36.11	144	180.00	62.23
98	122.50	36.67	145	181.25	62.78
99	123.75	37.23	146	182.50	63.34
100	125.00	37.78	147	183.75	63.90
101	126.25	38.34	148	185.00	64.45
102	127.50	38.90	149	186.25	65.00
103	128.75	39.45	150	187.50	65.56
104	130.00	40.00	151	188.75	66.11
105	131.25	40.56	152	190.00	66.67
106	132.50	41.11	153	191.25	67.23
107	133.75	41.67	154	192.50	67.78
108	135.00	42.23	155	193.75	68.34
109	136.25	42.78	156	195.00	68.90
110	137.50	43.34	157	196.25	69.45
111	138.75	43.90	158	197.50	70.00
112	140.00	44.45	159	198.75	70.56
113	141.25	45.00	160	200.00	71.11
114	142.50	45.56			

TEMPÉRATURES en degrés		TEMPÉRATURES en degrés		TEMPÉRATURES en degrés		TEMPÉRATURES en degrés	
Farenh.	centigrades.	Farenh.	centigrades.	Farenh.	centigrades.	Farenh.	centigrades.
+161	+ 71.67	+219	+103.90	+277	+136.11	+335	+168.34
162	72.23	220	104.45	278	136.67	336	168.90
163	72.76	221	105.00	279	137.23	337	169.45
164	73.34	222	105.56	280	137.78	338	170.00
165	73.90	223	106.11	281	138.34	339	170.56
166	74.45	224	106.67	282	138.90	340	171.11
167	75.00	225	107.23	283	139.45	341	171.67
168	75.56	226	107.78	284	140.00	342	172.23
169	76.11	227	108.34	285	140.56	343	172.78
170	76.67	228	108.90	286	141.11	344	173.34
171	77.23	229	109.45	287	141.67	345	173.90
172	77.78	230	110.00	288	142.23	346	174.45
173	78.34	231	110.56	289	142.78	347	175.00
174	78.90	232	111.11	290	143.34	348	175.56
175	79.45	233	111.67	291	143.90	349	176.11
176	80.00	234	112.23	292	144.45	350	176.67
177	80.56	235	112.78	293	145.00	351	177.23
178	81.11	236	113.34	294	145.56	352	177.78
179	81.67	237	113.90	295	146.11	353	178.34
180	82.23	238	114.45	296	146.67	354	178.90
181	82.78	239	115.00	297	147.23	355	179.45
182	83.34	240	115.56	298	147.78	356	180.00
183	83.90	241	116.11	299	148.34	357	180.56
184	84.45	242	116.67	300	148.90	358	181.11
185	85.00	243	117.23	301	149.45	359	181.67
186	85.56	244	117.78	302	150.00	360	182.23
187	86.11	245	118.34	303	150.56	361	182.78
188	86.67	246	118.90	304	151.11	362	183.34
189	87.23	247	119.45	305	151.67	363	183.90
190	87.78	248	120.00	306	152.23	364	184.45
191	88.34	249	120.56	307	152.78	365	185.00
192	88.90	250	121.11	308	153.34	366	185.56
193	89.45	251	121.67	309	153.90	367	186.11
194	90.00	252	122.23	310	154.45	368	186.67
195	90.56	253	122.78	311	155.00	369	187.23
196	91.11	254	123.34	312	155.56	370	187.78
197	91.67	255	123.90	313	156.11	371	188.34
198	92.23	256	124.45	314	156.67	372	188.90
199	92.78	257	125.00	315	157.23	373	189.45
200	93.34	258	125.56	316	157.78	374	190.00
201	93.90	259	126.11	317	158.34	375	190.56
202	94.45	260	126.67	318	158.90	376	191.11
203	95.00	261	127.23	319	159.45	377	191.67
204	95.56	262	127.78	320	160.00	378	192.23
205	96.11	263	128.34	321	160.56	379	192.78
206	96.67	264	128.90	322	161.11	380	193.34
207	97.23	265	129.45	323	161.67	381	193.90
208	97.78	266	130.00	324	162.23	382	194.45
209	98.34	267	130.56	325	162.78	383	195.00
210	98.90	268	131.11	326	163.34	384	195.56
211	99.45	269	131.67	327	163.90	385	196.11
212	100.00	270	132.23	328	164.45	386	196.67
213	100.56	271	132.78	329	165.00	387	197.23
214	101.11	272	133.34	330	165.56	388	197.78
215	101.67	273	133.90	331	166.11	389	198.34
216	102.23	274	134.45	332	166.67	390	198.90
217	102.78	275	135.00	333	167.23	391	199.45
218	103.34	276	135.56	334	167.78	392	200.00

188. *Pyromètre de Wedgwood.* Cet instrument, fondé sur le retrait qu'éprouve un cône d'argile lorsqu'il a été soumis à une température élevée, sert à évaluer les hautes températures. Le 0° de cet instrument correspond à la température de 580°,56 centigrades, c'est la température du rouge naissant et à laquelle on fait recuire les cônes d'argile. L'échelle porte ensuite 240 divisions qu'on suppose équivaloir chacune à 72°,22 centigrades. L'échelle est placée sur une règle accompagnée d'une autre faisant avec la première un certain angle, de sorte qu'en faisant glisser entre ces deux règles le cône d'argile, qui a été placé pendant un temps convenable dans le milieu dont on veut mesurer la température pour prendre lui-même cette température, le point de l'échelle où il s'arrête indique la température cherchée. Le retrait de l'argile pouvant ne pas être proportionnel à la température, on ne doit regarder les indications du pyromètre que comme des valeurs approchées. Cet instrument est surtout utile pour reconnaître les variations de température.

Pyromètre à air. Cet appareil est formé d'une boule creuse en platine, d'une certaine capacité, munie d'un tube également en platine, d'une certaine longueur, mais d'une petite section afin que sa capacité soit faible par rapport à celle de la boule. A l'extrémité de ce tube en platine, se trouve adapté un tube manométrique en verre, dont la branche non adaptée au tube en platine communique avec l'atmosphère. Supposons qu'après avoir bien desséché l'appareil, on ait rempli la boule et le tube en platine d'air sec, et le tube manométrique de mercure jusqu'au même niveau dans les deux branches, et qu'on porte la boule en platine dans le lieu dont on veut mesurer la température; en vertu de la différence des dilatations de l'air et du platine, le volume et la pression de l'air augmenteront; mais supposons qu'on maintienne la pression constante, en retirant, à l'aide d'un robinet placé au bas du tube manométrique, du mercure jusqu'à ce qu'il prenne le même niveau dans les deux branches du tube; alors, la capacité de la boule et du tube de platine étant connue, ainsi que la section du tube manométrique, on a la dilatation totale apparente de l'air dans le platine; et supposant cette dilatation apparente constante pour toutes les températures, comme elle est connue pour des températures non très-élevées, on obtient la température suffisamment ap-

prochée du foyer, en ajoutant à la température du milieu environnant, le quotient de la dilatation apparente totale trouvée, par la dilatation apparente pour un degré.

189. TABLEAU de la température de fusion de quelques corps.

DÉSIGNATION DES CORPS.	TEMPÉ- RATURE en degrés centigr.	DÉSIGNATION DES CORPS.	TEMPÉ- RATURE en degrés centigr.	
Mercure.	-39°	Alliage de étain 1 part., plomb 1.	241	
Essence de térébenthine.	-10		<i>id.</i> 1, <i>id.</i> 3.	289
Glace.	0		<i>id.</i> 2, <i>id.</i> 1.	196
Suif.	33.33		<i>id.</i> 3, <i>id.</i> 1.	186
Phosphore.	43		<i>id.</i> 4, <i>id.</i> 1.	189
Acide acétique	45	<i>id.</i> 5, <i>id.</i> 1.	194	
Stéarine.	43 à 49	Étain.	230	
Spermacéti.	49	Bismuth.	256	
Acide margarique	55 à 60	Plomb.	334	
Potassium.	58	Zinc.	360	
Cire non blanchie.	61	Antimoine.	432	
Cire blanche.	68	Bronze.	900	
Acide stéarique.	70	Argent très-pur.	1000	
Sodium.	90	Or au titre des monnaies.	1180	
Alliage de plomb 1 part., étain 1, bismuth 4.	94	Or très-pur.	1250	
	<i>id.</i> 5, <i>id.</i> 3, <i>id.</i> 8.	Fonte blanche très-fusible.	1050	
	<i>id.</i> 2, <i>id.</i> 3, <i>id.</i> 5.	Fonte blanche peu fusible.	1100	
Iode.	107	Fonte grise très-fusible.	1100	
Soufre.	109	Fonte grise, 2 ^e fusion.	1200	
Alliage de étain 4 part., bismuth 5, plomb 1.	118.9	Fonte manganésée.	1250	
	<i>id.</i> 1, <i>id.</i> 1.	Aciers, les plus fusibles.	1300	
	<i>id.</i> 2, <i>id.</i> 1.	Aciers, les moins fusibles.	1400	
	<i>id.</i> 3, plomb 1.	Fer doux français.	1500	
	<i>id.</i> 3, bismuth 1.	Fer martelé anglais.	1600	

190. TABLEAU des températures correspondant à différentes nuances lumineuses, d'après les expériences de M. Pouillet, à l'aide d'un pyromètre à air (188).

NUANCES.	TEMPÉ- RATURE en degrés centigr.	NUANCES.	TEMPÉ- RATURE en degrés centigr.
Rouge naissant.	525	Orange foncé.	1100
Rouge sombre.	700	Orange clair.	1200
Cerise naissant.	800	Blanc.	1300
Cerise.	900	Blanc suant.	1400
Cerise clair.	1000	Blanc éblouissant.	1500

DILATATION.

191. Dilatation des solides par la chaleur. Tous les corps jouissent de la propriété de se dilater par la chaleur, mais à des degrés différents.

TABLEAU de la dilatation linéaire, c'est-à-dire de l'accroissement de chacune des dimensions, longueur, largeur et épaisseur des corps solides, quand on porte la température de ces corps de 0° à 100°, en prenant pour unité la dimension choisie à 0°.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	DILATATIONS EN FRACTIONS	
	décimales.	ordinales.
1° D'APRÈS LAVOISIER ET LAPLACE.		
Flint-glass anglais.	0.000 811 66	1/1248
Platine (selon Borda).	0.000 856 55	1/1167
Verre de France avec plomb.	0.000 871 99	1/1147
Tube de verre sans plomb.	0.000 875 72	1/1142
<i>Idem.</i>	0.000 896 94	1/1115
<i>Idem.</i>	0.000 897 60	1/1114
<i>Idem.</i>	0.000 917 50	1/1090
Verre de St-Gobain.	0.000 890 89	1/1122
Acier non trempé.	0.001 078 80	1/927

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	DILATATIONS EN FRACTIONS	
	décimales.	ordinaires.
Acier non trempé.	0.001 079 15	1/927
<i>Idem.</i>	0.001 079 60	1/926
Acier trempé jaune, recuit à 65°.	0.001 239 56	1/807
Fer doux forgé.	0.001 220 45	1/819
Fer rond passé à la filière.	0.001 235 04	1/812
Or de départ.	0.001 466 06	1/682
Or au titre de Paris, recuit.	0.001 513 61	1/661
<i>Idem.</i> non recuit.	0.001 551 55	1/645
Cuivre	0.001 712 20	1/584
<i>Id.</i>	0.001 717 33	1/582
<i>Id.</i>	0.001 722 40	1/581
Cuivre jaune ou laiton.	0.001 866 70	1/535
<i>Idem.</i>	0.001 878 21	1/533
<i>Idem.</i>	0.001 889 70	1/529
Argent au titre de Paris.	0.001 908 68	1/524
Argent de coupelle.	0.001 909 74	1/524
Étain des Indes ou de Malacca.	0.001 937 65	1/516
Étain de Falmouth.	0.002 172 98	1/462
Plomb.	0.002 848 36	1/351
2° D'APRÈS SMEATON.		
Verre blanc (tubes de baromètres).	0.000 833 33	1/1175
Régule martial d'antimoine	0.001 083 33	1/923
Acier.	0.001 150 00	1/870
Acier trempé.	0.001 225 00	1/816
Fer.	0.001 258 33	1/795
Bismuth.	0.001 391 67	1/719
Cuivre rouge battu.	0.001 700 00	1/588
Cuivre rouge 8 parties, étain 1 partie.	0.001 816 67	1/550
Cuivre jaune fondu.	0.001 875 00	1/533
Cuivre jaune 16 parties, étain 1 partie.	0.001 908 33	1/524
Fil de laiton.	0.001 933 33	1/517
Métal de miroir de télescope.	0.001 933 33	1/517

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	DILATATIONS EN FRACTIONS	
	décimales.	ordinaires.
Soudure, cuivre 2 parties, zinc 1 partie.	0.002 058 33	1/486
Étain fin.	0.002 283 33	1/438
Étain en grains	0.002 483 33	1/403
Soudure blanche, étain 1 partie, plomb 2 parties.	0.002 505 33	1/399
Zinc 8 parties, étain 1 partie, un peu forgé.	0.002 691 67	1/372
Plomb	0.002 866 67	1/349
Zinc.	0.002 941 67	1/340
Zinc allongé au marteau de $\frac{1}{11}$	0.003 108 33	1/322
3° D'APRÈS LE MAJOR GÉNÉRAL ROY.		
Verre en tube.	0.000 775 50	1/1289
Verre en verge solide.	0.000 808 33	1/1237
Fer fondu (prisme de).	0.001 110 00	1/901
Acier (verge d').	0.001 144 50	1/874
Cuivre jaune de Hambourg.	0.001 855 50	1/539
Cuivre jaune anglais, en forme de verge.	0.001 892 96	1/528
<i>Idem.</i> en forme d'auge ou canal rectangulaire.	0.001 894 50	1/528
4° D'APRÈS M. TROUGHON.		
Platine.	0.000 991 80	1/1008
Acier.	0.001 189 90	1/840
Fer tiré à la filière.	0.001 440 10	1/694
Cuivre.	0.001 918 80	1/521
Argent.	0.002 082 60	1/480
5° D'APRÈS M. WOLLASTON.		
Palladium.	0.001 000 00	1/1000
6° D'APRÈS MM. DULONG ET PETIT.		
Platine, de 0° à 100°.	0.000 884 20	1/1131
<i>Id.</i> de 0° à 300°.	0.002 754 82	1/363
Verre de 0° à 100°.	0.000 861 33	1/1161
<i>Id.</i> de 0° à 200°.	0.001 845 02	1/544
<i>Id.</i> de 0° à 300°.	0.003 032 52	1/329

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	DILATATIONS EN FRACTIONS	
	décimales.	ordinales.
Fer de 0° à 100°	0.001 182 10	1/846
Fer de 0° à 300°	0.004 405 28	1/227
Cuivre de 0° à 100°	0.001 718 20	1/582
<i>Id.</i> de 0° à 300°	0.005 649 72	1/177

Pour des températures inférieures à 100°, la dilatation est à peu près proportionnelle au nombre de degrés ; mais, au delà, d'après les expériences de Dulong et Petit, dont les résultats sont consignés au tableau précédent, la dilatation croît sensiblement avec le degré de température.

La dilatation superficielle d'un solide est à peu près égale au double de sa dilatation linéaire, c'est-à-dire que si, pour un certain nombre de degrés, la longueur d'un solide augmente de 1/100 de sa longueur à 0°, sa surface augmentera, pour le même nombre de degrés, de 2/100 de sa surface à 0°.

La dilatation cubique des solides est à peu près égale au triple de la dilatation linéaire.

192. Dilatation des liquides, par la chaleur.

T'ABLEAU de la dilatation apparente de quelques liquides, dans le verre, lorsqu'on élève leur température de 0° à 100°.

DÉSIGNATION DES LIQUIDES.	DILATATIONS APPARENTES EN	
	fractions décimales.	fractions ordinales.
Eau	0.046 6	1/22
Acide chlorhydrique (densité 1.137).	0.060 0	1/17
Acide azotique (densité 1.40).	0.110 0	1/9
Acide sulfurique (densité 1.85).	0.060 0	1/17
Éther sulfurique.	0.070 0	1/14
Huile d'olive et de lin.	0.080 0	1/12
Essence de térébenthine.	0.070 0	1/14
Eau saturée de sel marin.	0.050 0	1/20

DÉSIGNATION DES LIQUIDES.	DILATATIONS APPARENTES EN	
	fractions décimales.	fractions ordinales.
Alcool.	0.110 0	1/9
Mercure.	0.015 6	1/64
DILATATION ABSOLUE.		
Mercure, de 0° à 100°	0.018 018 0	1/55.50
<i>Id.</i> de 100° à 200°	0.018 433 1	1/54.25
<i>Id.</i> de 200° à 300°	0.018 867 9	1/53

193. Dilatation des gaz. D'après les expériences de M. Gay-Lussac, tous les gaz, soumis à une pression constante, se dilatent de la même manière et de $\frac{1}{267} = 0,00375$ de leur volume à 0°, par degré centigrade ; mais de nouvelles expériences faites par M. Rudberg, et d'autres plus récentes encore faites par M. Regnault, ont donné pour coefficient de la dilatation absolue des gaz 0,00364.

194. Effet de la température et de la pression, sur le volume des gaz. On a, en supposant que la pression du gaz reste constante,

$$V' = V \frac{1 + 0,00364t'}{1 + 0,00364t}, \text{ ou à peu près } V' = V(1 + 0,00364(t' - t)).$$

V volume du gaz à la température t ;

V' volume que prend le gaz à la nouvelle température t' ;

$t' - t$ augmentation de température du gaz, en degrés centigrades ;

$1 + 0,00364t'$ et $1 + 0,00364t$, volumes que prend l'unité de volume du gaz à 0°, en passant aux températures t' et t .

On passe de la première expression de la valeur de V' à la seconde, plus commode en pratique, en négligeant les termes renfermant le carré de 0,00364.

Si la pression du gaz, au lieu de rester constante, avait changé, on aurait, en représentant par p la pression primitive et par p' la pression nouvelle,

$$V' = V \frac{p}{p'} \times \frac{1 + 0,00364t'}{1 + 0,00364t}, \text{ ou à peu près } V' = V \frac{p}{p'} (1 + 0,00364(t' - t)).$$

C'est-à-dire que les volumes d'un même gaz à deux températures et à deux pressions différentes, sont entre eux comme les volumes que prend l'unité de volume à 0°, en passant aux deux températures, et en raison inverse des pressions. Les densités sont en raison inverse des volumes.

CHALEUR SPÉCIFIQUE.

195. *Unité de chaleur.* On appelle unité de chaleur, la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température d'un kilogramme d'eau.

196. *Chaleur spécifique.* La chaleur spécifique ou capacité calorifique d'un corps, est le nombre d'unités de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température d'un kilogramme de ce corps.

TABLEAU des chaleurs spécifiques de quelques corps, de 0° à 100°, d'après M. Regnault.

DÉSIGNATION DES CORPS.	CHALEURS spécifiques.	DÉSIGNATION DES CORPS.	CHALEURS spécifiques.
Fer.	0.11379	Phosphore de 10° à 30° . .	0.1887
Zinc.	0.09555	Phosphore de 0° à 100°, avec chaleur de fusion comprise	0.25034 0.25250
Cuivre.	0.09515	Manganèse très-carburé . .	0.14411
Cadmium.	0.05669	Mercure.	0.03332
Argent.	0.05701	ALLIAGES.	
Arsenic.	0.08140	Plomb 1 at., étain 1 at. . .	0.04073
Plomb.	0.03140	<i>Id.</i> 1 at., étain 2 at. . .	0.04506
Bismuth	0.03084	<i>Id.</i> 1 at., antimoine 1 at.	0.03880
Antimoine.	0.05077	Bismuth 1 at., étain 1 at. .	0.04000
Étain des Indes.	0.05623	<i>Id.</i> 1 at., étain 2 at. . .	0.04504
<i>Id.</i> anglais.	0.05695	<i>Id.</i> 1 at., étain 2 at. et antimoine 1 at.	0.04621
Nickel.	0.10863	Bismuth 1 at., étain 2 at., antimoine 1 at., zinc 2 at.	0.05657
Cobalt	0.10696	Plomb 1 at., étain 2 at., bismuth 1 at.	0.04476
Platine laminé	0.03243	Plomb 1 at., étain 2 at., bismuth 2 at.	0.06082
<i>Id.</i> en mousse.	0.03293	Mercure 1 at., étain 1 at. .	0.07294
Palladium.	0.05927	<i>Id.</i> 1 at., étain 2 at. . .	0.06591
Or.	0.03244	<i>Id.</i> 1 at., plomb 1 at. . .	0.03827
Soufre.	0.20259	Protoxyde de plomb, en poudre.	0.05118
Iode.	0.05412	Protoxyde de plomb fondu. .	0.05089
Acier Haussmann.	0.11848		
Fine-métal.	0.12728		
Fonte de fer blanche de Bourgogne.	0.12983		
Charbon.	0.24111		

DÉSIGNATION DES CORPS.	CHALEURS spécifiques.	DÉSIGNATION DES CORPS.	CHALEURS spécifiques.
Oxyde de mercure.	0.05179	Sulfure de plomb.	0.05086
Protoxyde de manganèse	0.15701	<i>Id.</i> de mercure.	0.05117
Oxyde de cuivre.	0.14201	Proto-sulfure d'étain.	0.08365
<i>Id.</i> de nickel.	0.16234	Sulfure d'antimoine.	0.08403
<i>Id.</i> calciné à la forge	0.15885	<i>Id.</i> de bismuth.	0.06002
Magnésie.	0.24394	Bisulfure de fer (pyrite). . .	0.13009
Oxyde de zinc.	0.12480	<i>Id.</i> d'étain.	0.11932
Peroxyde de fer (fer alligste).	0.16695	Sulfure de cuivre.	0.12118
Colcothar peu calciné.	0.17569	<i>Id.</i> d'argent.	0.07460
Colcothar calciné une deuxième fois.	0.17167	Pyrite magnétique.	0.16023
Colcothar fortement calciné.	0.16921	Chlorure de sodium.	0.21401
Colcothar fortement calciné une deuxième fois.	0.16707	<i>Id.</i> de potassium.	0.17295
Acide arsénieux.	0.12786	Protochlorure de mercure. . .	0.05205
Oxyde de chrome	0.17960	<i>Id.</i> de cuivre.	0.13827
<i>Id.</i> de bismuth.	0.06053	Chlorure d'argent.	0.09109
<i>Id.</i> d'antimoine.	0.09009	<i>Id.</i> de baryum.	0.08957
Alumine (corindon).	0.19762	<i>Id.</i> de strontium.	0.11990
<i>Id.</i> (saphir).	0.21732	<i>Id.</i> de calcium.	0.16420
Acide stannique.	0.09326	<i>Id.</i> de magnésium.	0.19460
<i>Id.</i> titanique artificiel.	0.17164	<i>Id.</i> de plomb.	0.06641
<i>Id.</i> <i>id.</i> (rutile).	0.17032	Protochlorure de mercure. . .	0.06889
<i>Id.</i> antimonieux.	0.09535	Chlorure de zinc.	0.13618
<i>Id.</i> tungstique.	0.07983	Perchlorure d'étain.	0.10161
<i>Id.</i> molybdique.	0.13240	Chlorure de manganèse.	0.14253
<i>Id.</i> silicique.	0.19132	Chloride d'étain.	0.14759
<i>Id.</i> borique.	0.23743	Chlorure d'arsenic.	0.17604
Oxyde de fer magnétique.	0.16780	Fluorure de calcium.	0.21492
Proto-sulfure de fer.	0.13570	Nitrate de potasse.	0.23875
Sulfure de nickel.	0.12813	<i>Id.</i> de soude.	0.27824
<i>Id.</i> de cobalt.	0.12512	<i>Id.</i> d'argent.	0.14352
<i>Id.</i> de zinc.	0.12303	<i>Id.</i> de baryte.	0.15228
		Chlorate de potasse.	0.20956
		Phosphate de potasse.	0.19102

DÉSIGNATION DES CORPS.	CHALEURS spécifiques.	DÉSIGNATION DES CORPS.	CHALEURS spécifiques.
Phosphate de soude. . .	0.22833	Carbonate de potasse. . .	0.21623
<i>Id.</i> de plomb ($P^2O^5 + 2RO$). . .	0.08208	<i>Id.</i> de soude.	0.27275
<i>Id.</i> de plomb ($P^2O^5 + 3RO$). . .	0.07982	<i>Id.</i> de chaux (spath d'Islande). . .	0.20858
Arséniate de potasse. . .	0.15631	Aragonite.	0.20850
<i>Id.</i> de plomb.	0.07280	Marbre saccharoïde gris. . .	0.20989
Sulfate de potasse.	0.19010	<i>Idem.</i> blanc.	0.21585
<i>Id.</i> de soude.	0.23115	Craie blanche.	0.21485
<i>Id.</i> de baryte.	0.11285	Carbonate de baryte.	0.11038
<i>Id.</i> de strontiane.	0.14279	<i>Id.</i> de strontiane.	0.14483
<i>Id.</i> de plomb.	0.08723	<i>Id.</i> de fer.	0.19345
<i>Id.</i> de chaux.	0.19656	<i>Id.</i> de plomb.	0.08596
<i>Id.</i> de magnésie.	0.22159	Dolomie.	0.21743
Chromate de potasse. . .	0.18505	Noir animal.	0.26085
Bichromate de potasse. . .	0.18937	Charbon de bois.	0.24150
Borate de potasse.	0.21975	Coke de canel-coal.	0.20307
<i>Id.</i> de soude.	0.23823	<i>Id.</i> de la houille.	0.20085
<i>Id.</i> de plomb ($B^2O^6 - RO$).	0.11409	Charbon de l'anthracite du pays de Galles.	0.20172
<i>Id.</i> de potasse.	0.20478	Charbon de l'anthracite de Philadelphie.	0.20100
<i>Id.</i> de soude.	0.25709	Graphite naturel.	0.20187
<i>Id.</i> de plomb ($B^2O^6 + 2RO$).	0.09046	<i>Id.</i> des hauts-fourneaux.	0.49702
Wolfram.	0.09780	<i>Id.</i> des cornues à gaz.	0.20360
Zircon.	0.14558	Diamant.	0.14687
DÉSIGNATION DES CORPS.	OPÉRATEURS.		CHALEURS spécifiques.
Chaux vive.	Lavoisier et Laplace.		0.2169
Huile d'olive.	<i>Id.</i>		0.3096
Acide sulfurique (densité 1.87).	<i>Id.</i>		0.3346
Acide azotique (densité 1.30).	<i>Id.</i>		0.6614
Vinaigre.	Dalton.		0.9200
Acide chlorhydrique (densité 1.53).	<i>Id.</i>		0.600

DÉSIGNATION DES CORPS.	OPÉRATEURS.	CHALEURS spécifiques.
Alcool (densité 0.81).	Dalton.	0.700
<i>Id.</i> (densité 0.793).	<i>Id.</i>	0.622
Éther sulfurique (densité 0.76).	<i>Id.</i>	0.660
<i>Idem.</i> (densité 0.715).	Despretz.	0.520
Essence de térébenthine (densité 0.872).	<i>Id.</i>	0.472
Bois de pin.	Mayer.	0.650
Bois de chêne.	<i>Id.</i>	0.570
Bois de poirier.	<i>Id.</i>	0.500
Flint-glass.	Dalton.	0.190
Chlorure de sodium.	<i>Id.</i>	0.230
Mercure de 0° à 100°.	Dulong et Petit.	0.0330
<i>Id.</i> de 0 à 300	<i>Id.</i>	0.0350
Platine de 0 à 100	<i>Id.</i>	0.0335
<i>Id.</i> de 0 à 300	<i>Id.</i>	0.0355
Antimoine de 0 à 100	<i>Id.</i>	0.0507
<i>Id.</i> de 0 à 300	<i>Id.</i>	0.0547
Argent de 0 à 100	<i>Id.</i>	0.0557
<i>Id.</i> de 0 à 300	<i>Id.</i>	0.0611
Zinc de 0 à 100	<i>Id.</i>	0.0927
<i>Id.</i> de 0 à 300	<i>Id.</i>	0.1015
Cuivre de 0 à 100	<i>Id.</i>	0.0940
<i>Id.</i> de 0 à 200	<i>Id.</i>	0.1013
Fer de 0 à 100	<i>Id.</i>	0.1098
<i>Id.</i> de 0 à 200	<i>Id.</i>	0.1150
<i>Id.</i> de 0 à 300	<i>Id.</i>	0.1218
<i>Id.</i> de 0 à 350	<i>Id.</i>	0.1255
Verre de 0 à 100	<i>Id.</i>	0.1770
<i>Id.</i> de 0 à 300	<i>Id.</i>	0.1900
Platine 100°.	Pouillet.	0.03350
<i>Id.</i> 300	<i>Id.</i>	0.03434
<i>Id.</i> 500	<i>Id.</i>	0.03518
<i>Id.</i> 700	<i>Id.</i>	0.03600
<i>Id.</i> 1000	<i>Id.</i>	0.03718
<i>Id.</i> 1200	<i>Id.</i>	0.03818

La chaleur spécifique d'un même corps est à peu près constante pour des températures inférieures à 100° ; mais, au-dessus, elle croît sensiblement avec la température, et surtout au point où le corps commence à se ramollir. La chaleur spécifique d'un même corps diminue à mesure que l'état d'agrégation de ce corps devient plus grand. Cependant Dulong, en comparant les chaleurs spécifiques des corps simples, aux poids atomiques de ces mêmes corps, a posé la loi : *Les chaleurs spécifiques des corps simples sont en raison inverse de leurs poids atomiques* ; d'où il résulte que les produits des chaleurs spécifiques par les poids atomiques sont un nombre constant ; c'est en effet ce que vérifient sensiblement les résultats donnés par l'expérience.

Neumann a posé une loi semblable à la précédente, pour les corps composés ; elle est : *Pour chaque classe des corps composés ayant la même composition atomique et de constitution chimique semblable, les chaleurs spécifiques sont en raison inverse des poids atomiques*. Cette loi vient d'être vérifiée par les expériences de M. Regnault, desquelles il résulte aussi, que la chaleur spécifique d'un alliage est sensiblement la somme des quantités de chaleur nécessaires pour élever séparément de 1° la température de chaque quantité de métal qui entre dans 1 kilog. de l'alliage.

Chaleur spécifique des gaz. La chaleur spécifique d'un gaz n'est pas la même suivant que ce gaz en changeant de température peut changer de volume, de manière à rester à une pression constante, ou suivant qu'il conserve le même volume malgré la variation de température, qui change alors sa force élastique.

TABLEAU des chaleurs spécifiques de quelques gaz sous une même pression constante, d'après MM. Laroche et Bérard.

DÉSIGNATION DES GAZ.	CHALEURS SPÉCIFIQUES, celle de l'air étant 1.		CHALEUR spécifique. celle de l'eau étant 1, à poids égaux.
	à volumes égaux.	à poids égaux.	
Air atmosphérique.	1.0000	1.0000	0.2669
Hydrogène.	0.9033	12.5401	3.2936
Oxygène	0.9765	0.8848	0.2361
Azote.	1.0000	1.0318	0.2754
Oxyde de carbone	1.0340	1.0805	0.2884
Acide carbonique.	1.2588	0.8280	0.2210
Oxyde d'azote	1.3503	0.8878	0.2369
Gaz oléfiant.	1.5530	1.5763	0.4207
Vapeur d'eau.	1.9600	3.1360	0.8470

TABLEAU des chaleurs spécifiques de quelques gaz, à volume constant, celle de l'air étant égale à 1 ; et des rapports des chaleurs spécifiques à pression constante, aux chaleurs spécifiques à volume constant, d'après les expériences de Dulong.

DÉSIGNATION DES GAZ.	CHALEURS spécifiques.	RAPPORTS.
Air atmosphérique.	1.000	1.421
Hydrogène.	1.000	1.407
Oxygène.	1.000	1.415
Oxyde de carbone.	1.000	1.427
Oxyde d'azote	1.227	1.343
Acide carbonique.	1.249	1.338
Gaz oléfiant.	1.754	1.240

Ce tableau fait voir que la chaleur spécifique à volume constant est la même pour les gaz simples, et que de plus elle est égale à celle de l'air ; mais qu'elle est différente pour les gaz composés.

CHALEUR LATENTE.

197. *Chaleur latente de liquidité.* Lorsqu'un solide se liquéfie, il absorbe une grande quantité de chaleur sans que sa température augmente; cette quantité de chaleur prend le nom de *calorique de liquidité* ou de *chaleur latente de liquidité*.

TABEAU de la chaleur latente de liquidité de quelques solides.

DÉSIGNATION DES SOLIDES.	TEMPÉRATURE de fusion.	CALORIQUE de liquidité, en unités de chaleur (183).
Glace à 0°	0°	75
Sperma-céti.	56	82.22
Cire d'abeilles.	60	97.22
Etain.	219	277.77

Les corps en passant de l'état liquide à l'état solide, dégagent la même quantité de chaleur qu'ils ont absorbée en se liquéfiant, et leur température reste constante tant qu'il y a du liquide à solidifier.

198. *Chaleur latente de vaporisation.* Lorsqu'on vaporise un liquide, il absorbe une très-grande quantité de chaleur, et sa température, qui est aussi celle de la vapeur, reste constante tant qu'il y a du liquide à vaporiser; cette quantité de chaleur absorbée prend le nom de *calorique de vaporisation* ou de *chaleur latente de vaporisation*.

TABEAU de la chaleur latente de vaporisation de quelques liquides, et de la quantité totale de chaleur absorbée pour amener un kilogramme de ces liquides de 0° à la température d'ébullition et le vaporiser, d'après M. Despretz.

DÉSIGNATION DES LIQUIDES.	CHALEUR latente.	CHALEUR totale absorbée, exprimée en unités (180).
Eau.	531	631
Alcool	207	255
Éther sulfurique	96.8	109.3
Essence de térébenthine.	76.8	149.2

Les physiiciens ne sont pas d'accord dans l'évaluation de la chaleur latente de vaporisation de l'eau : Rumfort la suppose égale à 557; Dulong, à 543; Clément Desormes, à 550; M. Southern, à 530; et Watt, à 527.

D'après M. Southern, la chaleur latente de vaporisation de l'eau est constante, de sorte que la quantité de chaleur totale contenue dans la vapeur croît avec la température; ainsi un kilogramme de vapeur à 135° contient 135 + 530 unités de chaleur. D'après Clément Desormes, au contraire, la quantité totale de chaleur absorbée pour échauffer et vaporiser un kilogramme d'eau à 0°, est toujours de 650 unités de chaleur quelle que soit la température de la vapeur; ainsi à 135°, la chaleur latente de la vapeur est 650 — 135 = 515 unités de chaleur.

Des expériences, faites par M. Pambour, tendent à confirmer la loi de Clément Desormes, qui aurait cependant besoin d'être confirmée dans des limites de pression plus étendues, pour qu'on pût la regarder comme générale, ce que l'on suppose cependant en pratique.

199. TABLEAU des températures d'ébullition de quelques matières, sous la pression atmosphérique.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	TEMPÉRATURE en degrés centigrades.	DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	TEMPÉRATURE en degrés centigrades.
Eau	100.0	Dissol. sat. de tartre	116.7
Éther sulfurique.	37.8	<i>Id.</i> de nitrate d'ammon.	125.3
Sulfure de carbone	47.0	<i>Id.</i> de sous-carbonate de potasse.	140.0
Alcool	78.4	Essence de térébenthine.	157.0
Diss. sat. de sulfate de soude.	100.7	Phosphore.	290.0
<i>Id.</i> d'acétate de plomb.	102.0	Soufre.	299.0
<i>Id.</i> de chlorure de sodium.	106.9	Acide sulfurique.	310.0
<i>Id.</i> de chlorhydrate d'ammoniaque.	114.4	Huile de lin.	316.0
<i>Id.</i> de nitre.	115.6	Mercure.	360.0

VAPEURS.

200. *Propriétés de la vapeur.* La vapeur non saturée se comporte comme un gaz, quand on fait varier sa température et son volume dans les limites qui ne l'amènent pas à saturation (194).

La vapeur saturée, c'est-à-dire celle qui est au maximum de tension et de densité correspondant à la température à laquelle elle se trouve, n'étant pas en contact avec du liquide, si on augmente son volume, on diminue sa densité, sa tension et sa température; et si au contraire on diminue son volume, on augmente sa densité, sa tension et sa température, et il est probable qu'il y a de la vapeur condensée; cela suppose qu'il n'y a ni gain ni perte de chaleur par l'enveloppe qui renferme la vapeur. Cependant, d'après Clément Desormes et M. Pambour, il n'y aurait pas condensation, et la vapeur resterait toujours saturée quoiqu'on augmentât ou qu'on diminuât son volume (chaleur latente de vaporisation de l'eau, n° 198).

La vapeur en contact avec le liquide qui la forme est toujours saturée au maximum de densité et de pression correspondant à la température du liquide; il y a vaporisation ou condensation suivant

qu'on augmente ou qu'on diminue son volume, et par suite absorption ou production de chaleur, ce qui diminue ou augmente la température du liquide, quand toutefois il n'y a ni gain ni perte de chaleur par l'enveloppe

201. *Relation entre la température et la force élastique de la vapeur d'eau.* Tredgold a donné une formule empirique qui lie la température à la force élastique de la vapeur d'eau, pour des pressions qui ne dépassent pas une atmosphère, et qui est encore plus exacte que toute autre, pour des pressions comprises entre 1 et 4 atmosphères; cette formule est

$$t = 85\sqrt[6]{p-75}, \quad \text{d'où} \quad p = \left(\frac{t+75}{85}\right)^6.$$

t température de la vapeur, en degrés centigrades;
 p force élastique de la vapeur, en centimètres de mercure.

Avant 1830, on ne connaissait la force élastique de la vapeur que pour des températures ne s'élevant pas au-dessus de 172°,13, ce qui correspond à 8 atmosphères de pression; mais à cette époque, MM. Dulong et Arago poussèrent les expériences jusqu'à la température de 224°,20, qui correspond à une force élastique de 24 atmosphères. Les résultats de ces expériences sont consignés dans le tableau suivant dont les nombres, correspondant à des pressions de plus de 24 atmosphères, ont été déterminés au moyen de la formule empirique suivante, que ces expérimentateurs ont posée pour relier les résultats de leurs expériences.

$$t = \frac{\sqrt[5]{p-1}}{0,7153}, \quad \text{d'où} \quad p = (1+0,7153t)^5.$$

p force élastique de la vapeur, en atmosphères;
 t température en unités de 100° centigrades; la valeur de t , tirée de la formule, est positive ou négative, suivant que la température de la vapeur est supérieure ou inférieure à 100°: ainsi la température de la vapeur étant 100°, la formule donne $t = 0$; si la température est 140°, on a $t = 0,40$; et si la température est 60°, on a $t = -0,40$.

202. TABLEAU donnant la tension de la vapeur d'eau à différentes températures; sa pression sur un centimètre carré en kilogrammes; sa densité, celle de l'eau étant 1; et le volume de 1 kilogramme de vapeur.

TEMPÉRATURE en degrés centigrades.	TENSION en centimètr. de mercure.	TENSION en atmosphères.	PRESSION en kilogrammes.	DENSITÉ, celle de l'eau liquide à 0° étant 1.	VOLUME en litres.
—20°	0.1333	»	0.0018	0.000 001 54	650588
—15	0.1879	»	0.0026	0.000 002 12	470898
—10	0.2631	»	0.0036	0.000 002 92	342984
— 5	0.3660	»	0.0050	0.000 003 98	251358
0	0.5059	»	0.0069	0.000 005 40	182323
5	0.6947	»	0.0094	0.000 007 27	137488
10	0.9475	»	0.0129	0.000 009 74	102670
12	1.0707	0.0141	0.0146	0.000 010 92	91564
15	1.2837	»	0.0170	0.000 012 99	77008
20	1.7314	»	0.0235	0.000 017 18	58224
25	2.3090	»	0.0314	0.000 022 52	44411
30	3.0643	»	0.0418	0.000 029 38	34041
35	4.0404	»	0.0549	0.000 038 09	26253
38	4.7579	0.0626	0.0646	0.000 044 42	22513
40	5.2998	»	0.0720	0.000 049 16	20343
45	6.8751	»	0.09340	0.000 062 74	15938
50	8.8742	»	0.12056	0.000 079 70	12546
51	9.3301	0.123	0.12676	0.000 083 54	11971
55	11.3710	»	0.15449	0.000 100 54	9946
60	14.4660	»	0.19653	0.000 125 98	7937
65	18.2710	»	0.24823	0.000 156 68	6382
66	19.1270	0.252	0.25986	0.000 163 56	6114
70	22.9070	»	0.31121	0.000 193 55	5167
75	28.507	»	0.39632	0.000 237 89	4204
80	35.208	»	0.47834	0.000 288 89	3462
82	38.238	0.503	0.51950	0.000 311 95	3206
85	43.171	»	0.58652	0.000 349 16	2864
90	52.528	»	0.71364	0.000 418 91	2387
92	56.695	0.746	0.77026	0.000 449 56	2224
95	63.427	»	0.86172	0.000 498 86	2005

TEMPÉRATURE en degrés centigrades.	TENSION en centimètr. de mercure	TENSION en atmosphères.	PRESSION en kilogrammes.	DENSITÉ, celle de l'eau liquide à 0° étant 1.	VOLUME en litres.
100°	76.000	1.00	1.03253	0.000 589 55	1696
106.60	95.000	1.25	1.29067	0.000 723 91	1381
112.40	114.000	1.50	1.54880	0.000 855 39	1169
117.10	133.000	1.75	1.80694	0.000 983 24	1014
121.55	152.000	2.00	2.06507	0.001 116 52	896
125.50	171.000	2.25	2.32320	0.001 232 93	806
128.85	190.000	2.50	2.58134	0.001 366 36	732
132.15	209.000	2.75	2.83947	0.001 490 56	671
135.00	228.000	3.00	3.09760	0.001 614 53	619
137.70	247.000	3.25	3.35573	0.001 737 39	576
140.35	266.000	3.50	3.61387	0.001 858 86	538
142.70	285.000	3.75	3.87200	0.001 980 20	505
144.95	304.000	4.00	4.13013	0.002 100 67	476
146.76	323.000	4.25	4.38827	0.002 227 31	449
149.15	342.000	4.50	4.64640	0.002 339 38	428
151.15	361.000	4.75	4.90453	0.002 457 63	407
153.30	380.000	5.00	5.16267	0.002 573 63	389
155.00	399.000	5.25	5.42080	0.002 689 56	392
156.70	418.000	5.50	5.67893	0.002 808 27	356
158.30	437.000	5.75	5.93707	0.002 924 85	342
160.00	456.000	6.00	6.19520	0.003 046 51	328
161.54	475.000	6.25	6.45334	0.003 155 13	317
163.25	494.000	6.50	6.71146	0.003 268 28	306
164.84	513.000	6.75	6.96960	0.003 381 48	296
166.42	532.000	7.00	7.22773	0.003 493 93	286
167.94	551.000	7.25	7.48587	0.003 606 06	277
169.41	570.000	7.50	7.74400	0.003 717 83	269
170.78	589.000	7.75	8.00213	0.003 829 07	261
172.13	608.000	8.00	8.26026	0.003 941 10	254
173.46	627.000	8.25	8.51840	0.004 051 98	247
174.79	646.000	8.50	8.77653	0.004 161 23	240
176.11	665.000	8.75	9.03467	0.004 271 82	234
177.40	684.000	9.00	9.29280	0.004 381 11	228
178.68	703.000	9.25	9.55093	0.004 479 55	223

TEMPÉRATURE en degrés centigrades.	TENSION en centimètr. de mercure.	TENSION en atmosphères.	PRESSION en kilogrammes.	DENSITÉ, celle de l'eau liquide à 0° étant 1.	VOLUME en litres.
170.89	722.000	9.50	9.80906	0.004 598 73	217
180.95	741.800	9.75	10.06720	0.004 738 58	212
182.00	760.000	10.00	10.32533	0.004 816 90	208
186.03	836.000	11.00	11.35786	0.005 255 7	190
190.00	912.000	12.00	12.39040	0.005 683 4	176
193.70	988.000	13.00	13.42292	0.006 107	164
197.19	1064.000	14.00	14.45546	0.006 527	153
200.48	1140.000	15.00	15.48800	0.006 944	144
203.00	1216.000	16.00	16.52052	0.007 359	136
206.57	1292.000	17.00	17.55306	0.007 769	129
209.40	1368.000	18.00	18.58560	0.008 178	122
212.10	1444.000	19.00	19.61812	0.008 583	117
214.70	1520.000	20.00	20.65066	0.008 986	111
217.20	1596.000	21.00	21.68319	0.009 387	107
219.60	1672.000	22.00	22.71572	0.009 785	102
221.90	1748.000	23.00	23.74826	0.010 182	98
224.20	1824.000	24.00	24.78080	0.010 575	95
226.30	1900.000	25.00	25.81332	0.010 968	91
236.20	2280.000	30.00	30.97600	0.012 903	78
244.85	2660.000	35.00	36.13864	0.014 663	68
252.55	3040.000	40.00	41.30133	0.016 644	60
259.52	3420.000	45.00	46.46398	0.018 497	54
265.89	3800.000	50.00	51.62664	0.020 306	49

D'après le tableau précédent, on voit que, sous la pression atmosphérique 0^m,76, un kilogramme ou un litre d'eau produit 1696 litres de vapeur, ou à peu près 1700 litres.

203. *Relation entre la densité de la vapeur d'eau et celle de l'air.* On peut admettre, en pratique, que la densité de la vapeur d'eau, saturée ou non, est toujours les 5/8 de celle de l'air à la même température et à la même pression. Ainsi, sans faire usage du tableau (202), ayant la densité de l'air (27 et 28) à 0° et sous la pression 0^m,76, on déterminera sa densité à une température et à une pression quelconque (194), et en en prenant les 5/8, on aura la densité de

la vapeur d'eau à la même température et sous la même pression.

204. *Mélange des gaz et des vapeurs.* Lorsqu'un liquide est introduit dans un espace limité rempli d'un gaz qui n'exerce aucune action chimique sur ce liquide, il se vaporise autant de liquide que si l'espace était vide, seulement la vaporisation est moins prompte. La force élastique de la vapeur formée est la même que si le gaz n'existait pas, et s'ajoute à celle de ce gaz; de sorte que la force élastique d'un mélange de gaz et de vapeur, est égale à la force élastique du gaz, augmentée de celle de la vapeur, correspondant à la température du mélange (201 et 202). Il en est de même lorsqu'on introduit plusieurs gaz dans un même espace limité, la force élastique du mélange est égale à la somme des forces élastiques des différents gaz occupant séparément le même espace.

V étant le volume d'un gaz saturé de vapeur à la température t , et P étant la pression du mélange, le tableau n° 202 donne la tension p de la vapeur à t , et $P - p$ est la force élastique du gaz. Ayant alors les volumes, les températures et les tensions du gaz et de la vapeur, on peut déterminer le poids de chacun de ces deux corps entrant dans le mélange.

205. *TABEAU du poids de vapeur contenu dans un mètre cube d'air saturé à différentes températures, sous la pression atmosphérique 0^m,76.*

TEMPÉRATURE en deg. cent.	POIDS en grammes.	TEMPÉRATURE en deg. cent.	POIDS en grammes.	TEMPÉRATURE en deg. cent.	POIDS en grammes.
0°	5.2	35°	37.00	70°	141.96
5	7.2	40	46.40	75	173.74
10	9.50	45	58.60	80	199.24
15	12.83	50	63.63	85	227.20
20	16.78	55	88.74	90	251.34
25	22.01	60	105.84	95	273.78
30	28.51	65	127.20	100	295.00

206. *Influence des matières dissoutes dans un liquide à vaporiser.* Dans un vase en verre, l'eau bout avec soubresauts, et l'ébullition n'a lieu, d'après M. Gay-Lussac, qu'à une température de 1°,3 plus élevée que dans un vase métallique. L'acide sulfurique présente le même phénomène, et les soubresauts sont d'autant plus violents que le liquide a plus de cohésion, et qu'il exerce sur la matière du vase une action moléculaire plus grande. Quelques parcelles métalliques projetées dans le vase arrêtent les soubresauts, et la tempé-

rature devient celle que l'on obtiendrait dans un vase métallique.

Le point d'ébullition des liquides n'est pas changé par les corps étrangers qui n'y sont que mécaniquement mélangés, comme les particules de sable, de sulfate de chaux, de carbonate de chaux, etc.; mais il est toujours modifié par les matières chimiquement combinées au liquide; ainsi tous les sels solubles retardent le point d'ébullition de l'eau, et l'expérience prouve :

1° Que la vapeur produite à la surface des dissolutions salines, est de la vapeur d'eau pure;

2° Que la tension de la vapeur dans un espace limité et à une température donnée, est moindre que celle de la vapeur produite par de l'eau pure, et qu'elle varie avec la nature du sel dissous;

3° Que sous la pression 0^m,76, la température de la vapeur formée est toujours de 100°, quelle que soit la nature du sel dissous et du vase contenant la dissolution.

TABLEAU des points d'ébullition de quelques dissolutions saturées, sous la pression 0^m,76, d'après les expériences de M. Legrand.

DÉSIGNATION DES SELS DISSOUS.	TEMPÉRATURES d'ébullition, en degrés centigrades.	QUANTITÉS de sel qui saturent 100 d'eau.
Chlorate de potasse	104.2	61,5
Chlorure de barium	104.4	60.1
Carbonate de soude	104.6	48.5
Phosphate de soude	105.5	113.2
Chlorure de potassium	108.3	59.4
Chlorure de sodium	108.4	41.2
Hydrochlorate d'ammoniaque	114.2	88.9
Tartrate neutre de potasse	114.67	296.2
Nitrate de potasse	115.9	335.1
Chlorure de strontium	117.9	117.5
Nitrate de soude	121.0	224.8
Acétate de soude	124.37	209.0
Carbonate de potasse	135.0	205.0
Nitrate de chaux	151.0	362.2
Acétate de potasse	169.0	798.2
Chlorure de calcium	179.5	325.0
Nitrate d'ammoniaque	180.0	Infini

207. *Tension des vapeurs autres que la vapeur d'eau.* D'après Dalton, les vapeurs de tous les liquides, ayant des tensions égales à des températures également éloignées de celle de leur point d'ébullition sous la pression 0^m,76, il sera facile, au moyen du tableau n° 202, et du tableau n° 199 qui donne la température d'ébullition de quelques liquides, d'avoir la force élastique de la vapeur de ces liquides à une température quelconque. Ainsi la force élastique de la vapeur d'alcool à 78°,4 + 17°,1 = 95°,5, sera la même que celle de la vapeur d'eau à 100° + 17°,1 = 117°,1; elle sera donc de 1,75 atmosphère (202).

LIQUÉFACTION DES GAZ.

208. *Liquéfaction des gaz.* On est déjà parvenu à liquéfier un grand nombre de gaz, et il est probable que tous pourraient l'être, si on pouvait confectionner des vases d'une résistance suffisante.

TABLEAU des températures et des pressions de liquéfaction de quelques gaz.

DÉSIGNATION DES GAZ.	TEMPÉRATURE en degrés centigrades.	PRESSION en atmosphères.	DÉSIGNATION DES GAZ.	TEMPÉRATURE en degrés centigrades.	PRESSION en atmosphères.
Acide sulfureux . . .	+ 7	2	Acide chlorhydrique.	- 16	20
Cyanogène	+ 7	3.6	<i>Id.</i>	- 4	25
Chlore	+ 15.5	4	<i>Id.</i>	+ 10	40
Ammoniaque	0	5	Acide carbonique . .	- 11	20
<i>Id.</i>	+ 10	6.50	<i>Id.</i>	0	36
Hydrogène sulfuré . .	- 16	14	Oxyde nitreux	0	44
<i>Id.</i>	+ 10	17	<i>Id.</i>	+ 7	51

En se gazéifiant, l'acide carbonique liquide produit un froid d'environ 90°; ce froid a permis à M. Thilorier de congeler l'acide carbonique même.

SOURCES DE FROID.

209. TABLEAU du froid produit par quelques mélanges frigorifiques.

DÉSIGNATION DES MÉLANGES.	ABAISSEMENT de température.	FROID produit.
Eau, 16 parties; nitre, 5; hydrochlorate d'ammoniaque, 5.	de + 10° à — 12°	22°
Eau, 16; hydrochlorate d'ammoniaque, 5; nitre, 5; sulfate de soude, 8.	de + 10 à — 16	26
Eau, 1; nitrate d'ammoniaque, 1.	de + 10 à — 16	26
Eau, 1; nitrate d'ammoniaque, 1; sous-carbonate de soude, 1.	de + 10 à — 19	29
Eau, 4; chlorure de potassium, 57; chlorhydrate d'ammoniaque, 32; nitrate de potasse, 20.	»	15
Neige ou glace pilée, 2; sel marin, 1.	»	20
Neige ou glace pilée, 5; sel marin, 2; sel ammoniac, 1.	»	24
Neige ou glace pilée, 24; sel marin, 10; sel ammoniac, 5; nitre, 5.	»	28
Neige ou glace pilée, 12; sel marin, 5; nitrate d'ammoniaque, 5.	»	31
Sulfate de soude, 3; acide azotique étendu, 2.	de + 10 à — 19	29
Sulfate de soude, 6; sel ammoniac, 4; nitre, 2; acide azotique étendu, 4.	de + 10 à — 23	33
Sulfate de soude, 6; nitrate d'ammoniaque, 5; acide azotique étendu, 4.	de + 10 à — 26	36
Phosphate de soude, 9; acide azotique étendu, 4.	de + 10 à — 29	39
Sulfate de soude, 20; acide sulfurique à 36°, 16.	de + 10 à — 8.15	18.15
Sulfate de soude, 22; résidu d'éther à 33°, 17.	de + 10 à — 8	18
Sulfate de soude, 8; acide chlorhydrique, 5.	de + 10 à — 17	27

210. TABLEAU des abaissements de température obtenus par M. Gay-Lussac, en faisant arriver un courant d'air desséché au chlorure de calcium, sur un thermomètre dont la boule était recouverte d'une baïette humide.

TEMPÉRATURES de l'air sec.	ABAISSEMENTS de température	TEMPÉRATURES de l'air sec.	ABAISSEMENTS de température.	TEMPÉRATURES de l'air sec.	ABAISSEMENTS de température.
0°	5°.82	9°	8°61	18°	11°96
1	6.09	10	8.97	19	12.34
2	6.37	11	9.37	20	12.73
3	6.66	12	9.70	21	13.12
4	6.96	13	10.07	22	13.51
5	7.27	14	10.44	23	13.90
6	7.59	15	10.82	24	14.30
7	7.92	16	11.20	25	14.70
8	8.26	17	11.58		

PUISSANCES CALORIFIQUES DES COMBUSTIBLES.

211. On appelle *puissance calorifique d'un combustible*, la quantité de chaleur que dégage, en se brûlant complètement, 1 kilog. de ce combustible; la puissance calorifique d'un même combustible est constante, quelles que soient d'ailleurs les circonstances dans lesquelles s'opère la combustion.

TABLEAU des puissances calorifiques de quelques matières combustibles, en unités de chaleur (195). (Extraits du Traité de la chaleur considérée dans ses applications, de M. PÉCLET).

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	NOMS des opérateurs.	PUISSANCES calorifiques.
Carbone pur	Despretz. . .	7800
Hydrogène pur.	Laplace. . . .	23400
Id.	Clément. . . .	22115
Id.	Despretz. . . .	23640
Hydrogène protocarboné.	Dalton.	6375
Hydrogène bicarboné.	Id.	6600

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	NOMS des opérateurs.	PUISSANCES calorifiques.
Oxyde de carbone.	Dalton.	1857
Huile d'olive.	Rumfort.	9044
<i>Id.</i>	Lavoisier.	11196
Huile de colza épurée.	Rumfort.	9307
Éther sulfurique, densité = 0.728 à 20°.	<i>Id.</i>	8030
Alcool à 42° (à 15°.5 de température).	<i>Id.</i>	6195
<i>Id.</i> à 35° (<i>id.</i>)	<i>Id.</i>	5261
Sulf.	<i>Id.</i>	8630
<i>Id.</i>	Laplace.	7186
Naphte, densité = 0.827.	Rumfort.	7338
Phosphore	Laplace.	7500
Essence de térébenthine	Dalton.	4500
Cire blanche.	Rumfort.	9679
<i>Id.</i>	Laplace.	10500
<i>D'après les dernières expériences de DULONG :</i>		
Hydrogène		34742
Carbone passant seulement à l'état d'oxyde		1386
Pour le poids d'oxyde de carbone renfermant 1 kilog. de carbone.		5784
Carbone passant à l'état d'acide carbonique.		7170
Oxyde de carbone.		2488
Hydrogène protocarboné.		13205
Hydrogène bicarboné.		12032
Soufre.		2601
Éther sulfurique		9430
Essence de térébenthine		10836
Huile d'olive.		9862
Alcool.		6855

Pendant longtemps on a admis que la puissance calorifique d'un combustible était proportionnelle à la quantité d'oxygène nécessaire à sa combustion; c'est ce que semblaient confirmer les puissances calorifiques du carbone et de l'hydrogène, obtenues par M. Des-

pretz; mais cette loi est démentie par les dernières expériences de Dulong, qui ont donné pour le carbone et l'hydrogène des puissances calorifiques qui sont loin d'être dans le rapport des quantités d'oxygène absorbées.

TABLEAU des puissances calorifiques des combustibles généralement employés dans l'industrie; et des quantités de chaleur que rayonnent ces combustibles en brûlant, en supposant leurs puissances calorifiques égales à l'unité.

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	POUVOIRS rayonnants	PUISSANCES calorifiques.
Bois desséché à 100°.	0.28	3600
Bois ordinaire à 0.20 d'eau.	0.25	2800
Charbon de bois.	0.50	7000
Tourbe desséchée à 60°.	0.25	4800
Tourbe à 0.20 d'eau.	0.25	3600
Charbon de tourbe.	0.50	5800
Houille moyenne.	plus que le charbon de bois.	7500
Coke à 0.15 de cendres.		6000

TABLEAU des quantités de chaleur moyennes produites par une mesure de volume de quelques combustibles — Ces quantités de chaleur ont été obtenues en multipliant les puissances calorifiques des combustibles par le poids en kilog. de leur mesure de volume.

DÉSIGNATION DES MESURES.	DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	CHALEUR produite en unités.
1 hectolitre.	Houille de moyenne qualité.	630000
1 corde de 4 mètres cubes.	Noyer d'une année de coupe.	7742000
<i>Id.</i>	Chêne blanc d'une année de coupe.	6846000
<i>Id.</i>	Frêne <i>id.</i>	5974000
<i>Id.</i>	Hêtre <i>id.</i>	5603000
<i>Id.</i>	Orme <i>id.</i>	4487000
<i>Id.</i>	Bouleau <i>id.</i>	4102000
<i>Id.</i>	Châtaignier <i>id.</i>	4035000
<i>Id.</i>	Charme <i>id.</i>	5572000

DÉSIGNATION DES MESURES.	DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	CHALEUR produite en unités.
1 corde de 4 mètres cubes. . .	Pin d'une année de coupe	4263000
<i>Id.</i>	Peuplier d'Italie <i>id.</i>	3069000
1 hectolitre	Charbon de noyer	292000
<i>Id.</i>	<i>Id.</i> de chêne	255000
<i>Id.</i>	<i>Id.</i> de frêne	210000
<i>Id.</i>	<i>Id.</i> de hêtre	176000
<i>Id.</i>	<i>Id.</i> d'orme	167000
<i>Id.</i>	<i>Id.</i> de bouleau	153000
<i>Id.</i>	<i>Id.</i> de châtaignier	146000
<i>Id.</i>	<i>Id.</i> de charme	176000
<i>Id.</i>	<i>Id.</i> de pin	160000
<i>Id.</i>	<i>Id.</i> de peuplier d'Italie	109000
1 hectolitre comble	Coke	230000
1 corde pesant 2000 kilog. . .	Tourbe de Beauvais, 2 ^e qualité . .	7200000

COMBUSTIBLES.

212. *Combustibles.* Les combustibles le plus généralement employés dans l'industrie sont le bois, le charbon de bois, la tannée, la tourbe, le charbon de tourbe, la houille et le coke.

Le carbone et l'hydrogène sont les deux principaux éléments utiles qui composent les combustibles.

C'est vers la température de 500° que les combustibles commencent à brûler en donnant de la lumière.

213. *Bois.* Le bois est formé : 1° d'une matière que M. Payen appelle cellulose, qui constitue la charpente solide de toutes les plantes, et qui se compose de 0,444 de carbone, et de 0,556 d'oxygène et d'hydrogène dans les proportions convenables pour faire de l'eau; 2° d'une matière incrustante de composition variable avec la nature des bois, très-riche en carbone, et contenant un petit excès d'hydrogène sur la quantité nécessaire à la composition de l'eau. Le bois contient en outre moyennement 0,015 de matières étrangères qui donnent naissance aux cendres lors de la combustion;

les bois de chauffage ordinaires contiennent à peu près 0,02 de ces matières étrangères.

Le bois vert contient moyennement 0,42 d'eau, qu'il peut perdre sans que sa nature soit altérée; celui de 4 à 5 mois de coupe, employé au charbonnage, en contient de 0,30 à 0,35, et celui de chauffage de 8 à 12 mois de coupe, de 0,20 à 0,25.

Il faut éviter de faire la coupe des bois quand ils sont en pleine sève; ainsi la saison d'hiver doit être choisie pour l'effectuer.

La France produit annuellement, d'après MM. Héron de Villefosse, 9 804 928 cordes, de chacune 2,75 stères, de bois de chauffage, ce qui équivaut à 84 163 426 francs.

D'après les expériences de Rumfort et celles de quelques autres opérateurs, on peut admettre que la puissance calorifique du bois que l'on a privé d'eau en le desséchant préalablement à 100°, est 3600^{un.}, et celle du bois ordinaire à brûler, contenant de 20 à 25 pour 100 d'eau, 2750^{un.} en moyenne.

D'après M. Pécelet, la quantité de chaleur rayonnée par le bois de hêtre en petits morceaux est à la quantité de chaleur entraînée par la fumée, dans le rapport de 1 à 2,5, et par suite, à la quantité totale de chaleur développée, dans celui de 1 à 3,5; ces rapports sont beaucoup plus grands pour les bois en gros morceaux donnant des charbons volumineux très-rayonnants.

M. Pécelet a reconnu aussi, que le pouvoir rayonnant était variable pour les différents bois en morceaux ordinaires, mais qu'il était à peu près le même pour tous les bois en petits morceaux.

TABLEAU des poids d'un mètre cube de différents bois, d'après M. Berthier.

DÉSIGNATION DES BOIS.	ÉTAT DES BOIS.	POIDS en kilogram.
Chêne de futaie des environs de Moulins.	Coupé depuis un an, en bûches refendues.	275
<i>Id.</i>	<i>Id.</i> <i>Id.</i> scié en quatre.	515
Chêne de la forêt de Monadier, près Moulins.	Gros bois coupé depuis 3 ans, refendu.	386
<i>Id.</i>	<i>Id.</i> <i>Id.</i> scié en quatre.	485
Chêne des environs de Cahors.	Coupé depuis un an.	525
Chêne de charbonnage.	Même, long de 30 pouces.	220 à 262
Hêtre des environs de Moulins.	En gros rondins refendus.	400
<i>Id.</i>	<i>Id.</i> Vermoulu en partie.	375
Bouleau des environs de Moulins.	En gros rondins.	440
Tremble.	De charbonnage.	190 à 220
Sapin de Moulins.	En gros bois.	300 à 340

A Paris, le bois de chauffage ordinaire pèse de 700 à 750 kilog. la voie, et celui de charbonnage de 600 à 700 kilog. La voie est de 2 stères ou 2 mètres cubes. Les buches ayant 1^m,14 de longueur, la mesure employée dans les chantiers pour livrer le stère a 1^m,00 de longueur sur 0^m,88 de hauteur.

Dans les arts, les effets des bois ne sont pas toujours proportionnels à leur puissance calorifique; ainsi, par exemple, s'il s'agit d'évaporer de l'eau dans une chaudière, ceux qui brûlent avec flamme sont les plus avantageux. Sous ce rapport, les différents bois sont rangés dans l'ordre suivant :

Sycamore 100	Mélèze et orme. 72	Tilleul. 55
Pin sylvestre. 89	Chêne blanc. 70	Tremble. 51
Hêtre et frêne. 87	Bouleau. 68	Aulne. 46
Charme. 85	Sapin. 63	Saule. 40
Alisier. 82	Acacia. 59	Peuplier d'Italie. 39
Chêne-rouvre. 75		

214. *Charbon de bois.* Le charbon de bois donne moyennement 0,075 de cendres, et celui du commerce contient généralement de 10 à 12 pour 100 d'eau. M. Sauvage, ingénieur des mines, donne pour la composition du charbon de bois fabriqué dans les fo-

rêts, 0,79 de carbone, 0,14 de matières volatiles et 0,07 de cendres.

D'après M. Despretz, la puissance calorifique du carbone pur est 7800; d'après les dernières expériences de Dulong, elle est 7170 (211); mais pour le charbon de bois fabriqué dans les forêts, on peut admettre, d'après M. Sauvage, que la puissance calorifique est les 0,85 environ de celle du carbone pur; elle serait donc $7170 \times 0,85 = 6095$; d'après M. Pécelet, la puissance calorifique des charbons de bois varie de 6600 à 7000 unités (211).

Les valeurs relatives des divers charbons sous le même volume, sont proportionnelles aux poids spécifiques de ces charbons; et sont, pour les charbons du commerce, 166 pour le charbon de noyer, 114 pour celui d'érable, 106 pour celui de chêne, et 75 pour celui de pin.

Le poids d'un mètre cube de charbon de chêne et de hêtre du commerce varie de 240 à 250^k; celui de bouleau de 220 à 230^k, et celui de pin, de 200 à 210^k. Dans les usines métallurgiques, dit M. d'Aubuisson, on admet généralement qu'un mètre cube de charbon en fragments de grosseur ordinaire pèse, pour le chêne et le hêtre, de 200 à 240^k; pour le pin et le mélèze, de 160 à 180^k; et pour le sapin et le châtaignier domestique, de 130 à 150^k.

D'après M. Pécelet, le pouvoir rayonnant du charbon de bois est à peu près moitié de sa chaleur spécifique, c'est-à-dire que la quantité de chaleur qu'il rayonne, est à peu près égale à la chaleur qu'entraîne la fumée, ou moitié de la chaleur totale développée.

D'après M. Berthier, tous les bois non résineux, carbonisés dans les mêmes circonstances, rendent, à poids égaux, la même quantité de charbon.

Par le mode de carbonisation en meules, employé dans les forêts, le bois ne donne que 17 à 18 pour cent de son poids en charbon; pour les grandes meules, cette proportion est un peu dépassée. En volume, les petites meules rendent de 26 à 30 pour cent, et les grandes, de 30 à 35. Le bois distillé en vases clos rend à peu près 28 pour cent de son poids en charbon.

Dans les départements des Ardennes et de la Meuse, les meules contiennent de 60 à 90 stères de bois (1/4 de hêtre et chêne, 1/4 de tremble et saule, et 1/2 de charme) en buchettes de 0^m,76 à 0^m,81 de longueur; et le rendement en poids est de 0,21 en moyenne; la carbonisation dure de 7 à 12 jours.

C'est vers l'âge de vingt ans qu'il convient d'aménager les bois destinées au charbonnage ; on profite de la grande croissance du jeune âge, tout en obtenant le bois le plus convenable à la carbonisation.

Charbon roux. MM. Honzeau et Fauveau, en carbonisant incomplètement du bois au moyen des gaz d'un haut-fourneau, obtiennent, pour une corde de bois pesant de 375 à 380 kilog., 220 kilog. d'un charbon brun foncé, produisant autant d'effet que 117^k,7 de charbon ordinaire ; le rendement apparent du bois est ainsi de 31 pour cent de son poids en charbon ordinaire.

215. *Tannée.* M. Pécelet rapporte que 1250 kilog. d'écorce de chêne donnent 1000 kilog. de tannée sèche, qui ont la même puissance calorifique que 800 kilog. de bois, ou que 270 à 300 kilog. de houille.

La puissance calorifique de la tannée parfaitement sèche est 3300, au lieu que celle de la tannée du commerce n'est que 2300.

Une machine de la force de 12 chevaux, construite dans un des faubourgs de Paris, consomme 12 kilog. de tannée par force de cheval et par heure.

A Paris, 1000 kilog. de tannée coûtent 10 fr. ; l'équivalent de bois, 39 fr. ; et celui de houille, 15 fr.

216. *Tourbe.* La tourbe séchée à l'air libre, comme on le fait ordinairement, contient de 25 à 30 pour cent d'eau qu'on ne peut lui faire perdre qu'en l'exposant à un courant d'air à la température de 50 ou 60°.

TABLERAU des compositions de quelques tourbes, d'après M. Regnault, et de leurs puissances calorifiques, soit en prenant 23640 et 7800 pour les puissances calorifiques respectives de l'hydrogène en excès et du carbone ; soit en prenant 34742 et 7170, comme les ont données les expériences de Dulong (211) ; soit encore en prenant les moyennes de ces valeurs.

DÉSIGNATION des tourbes.	COMPOSITION.				HYDROGÈNE en excès.	PUISSANCE CALORIFIQ.		
	Carbone	Hydro- gène.	Oxygène	Cendres.		1 ^{re} hy- pothèse	2 ^e hy- pothèse	Moyen.
De Vulcaire, près Abbeville.	57.03	5.63	31.76	5.58	1.69	4848	4673	4761
De Long, près Abbeville.	58.09	5.93	31.37	4.61	2.04	5013	4873	4943
Du Champ-de-Feu, près Fromont. . .	57.79	6.11	30.97	5.33	2.30	5051	4943	4997

Les tourbes qui ont fourni les résultats de ce tableau étant parfaitement sèches, on doit considérer ces résultats comme supérieurs à ceux fournis par les tourbes employées en industrie, qui contiennent 25 pour cent d'eau. En tenant compte de cette eau, les tourbes du tableau donneraient 3600 pour puissance calorifique moyenne, c'est-à-dire à peu près celle du bois parfaitement sec ou moitié de celle de la houille moyenne (211) ; c'est ce que confirment les expériences en grand. On conçoit du reste qu'en raison de la composition si variable de la tourbe, il est impossible d'assigner une valeur générale à sa puissance calorifique : il ya des tourbes dont la puissance calorifique n'est que le 1/5 de celle de la houille. Pour quelques machines à vapeur chauffées à la tourbe, on a brûlé 12 kil. de tourbe par force de cheval et par heure.

D'après M. Pécelet, la quantité de chaleur rayonnée par la tourbe est à celle totale développée par ce combustible, dans le rapport de 1 à 2,2.

217. *Charbon de tourbe.* Le charbon de bonne tourbe contient de 14 à 18 pour cent de cendres.

On peut regarder la puissance calorifique du charbon de tourbe comme étant égale à celle du charbon qu'il contient ; elle est donc très-variable en raison de la quantité si variable de cendres qui entre dans sa composition. Le charbon de tourbe d'Essonne donnant 18,2 pour cent de cendres, il en résulte que sa puissance calorifique est $7170 \times 81,8 = 5865$ (211).

D'après M. Pécelet, de même que pour la tourbe, la quantité de chaleur rayonnée par le charbon de tourbe est à la quantité totale de chaleur développée, dans le rapport de 1 à 2,2.

La tourbe des Ardennes, carbonisée en grand dans des fours en maçonnerie, donne, d'après M. Sauvage, un produit de 44 pour cent, d'un charbon qui se compose de 0,43 de carbone, 0,32 de matières volatiles et combustibles, et de 0,25 de cendres. On peut considérer 0,40 à 0,45 comme le rendement des tourbes en charbon. En meules contenant ordinairement de 5,50 à 8,25 mètres cubes de tourbe, ce rendement en poids, rapporte M. Landrin, n'est que de 20 à 25 pour cent, et en volume de 15 à 18.

218. *Lignite, houille et anthracite.* La houille, au moment de son extraction, ne contient que 0,02 d'eau ; mais dans le commerce, comme on n'a pas soin de l'abriter, elle en contient toujours une quantité considérable.

TABLEAU des analyses de quelques combustibles, faites par M. Regnault. Les houilles de 1.36 à 1.60 pour 100. La quantité d'azote étant toujours très-faible, on l'a confondue avec ce tableau, en admettant pour puissances calorifiques respectives de l'hydrogène et 7170 (211); les valeurs trouvées dans les deux hypothèses, et dont nous donnons

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	LOCALITÉS.	DENSITÉ.
<i>Combustibles de la formation carbonifère.</i>		
Anthracite.	Pensylvanie.	1.462
Id.	Pays de Galles	1.348
Id.	Mayenne	1.367
Id.	Rolduc	1.343
Houilles grasses et dures	Alais (Rochebelle)	1.322
Id.	Rive-de-Gier (P. Henry)	1.315
Houilles grasses maréchales.	Rive-de-Gier, 1.	1.298
Id.	(Grand' Croix), 2.	1.302
Id.	Newcastle (Richardson).	1.280
Houilles grasses à longues flammes.	Flenu de Mons, 1.	1.276
Id.	Id. 2.	1.292
Id.	Rive-de-Gier (Cimetière), 1.	1.288
Id.	Id. Id. 2.	1.294
Id.	Id. (Couzon), 1.	1.298
Id.	Id. Id. 2.	1.311
Id.	Lavaysse	1.284
Id.	Lancashire (Channelcoal).	1.317
Id.	Épinac	1.353
Id.	Commentry.	1.319
Id.	Blanzy.	1.362
<i>Combustibles des terrains secondaires.</i>		
Anthracite.	Lamure.	1.362
Id.	Macot.	1.919
Houille	Obernkirchen.	1.279
Id.	Céral.	1.294
Id.	Noroy.	1.410
Jais	Saint-Girons.	1.316
Id.	Bélerat.	1.305
<i>Combustibles des terrains tertiaires.</i>		
Lignite parfait.	Dax.	1.272
Id.	Bouches-du-Rhône.	1.254
Id.	Mont-Mésiner.	1.351
Id.	Basses-Alpes.	1.276
Lignite imparfait	Grèce.	1.185
Id.	Cologne.	1.100
Id.	Usnach (bois fossile).	1.167
Lignite passant au bitume.	Ellebogen.	1.157
Id.	Cuba	1.197
Asphalte.		1.063

ont été préalablement desséchées à 120°, ce qui leur a fait éprouver une perte qui a varié avec l'oxygène. M. Pécllet a calculé les puissances calorifiques des combustibles qu'en excès et du carbone, 23640 et 7800; et en adoptant les puissances de Dulong 34742 la moyenne dans la dernière colonne, ne diffèrent pas d'une manière très-sensible.

NATURE DU COKE.	POIDS du coke.	COMPOSITION.				HYDROGÈNE en excès.	PUISSANCE calorifique. — Moyenne.
		Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Cendres.		
Pulvérulent.	84.83	90.45	2.43	2.45	4.67	2.09	7382
Id.	89.72	92.56	3.33	2.53	1.58	2.98	7798
Id.	89.96	91.98	3.92	3.16	0.94	3.48	7807
Id.	86.96	91.45	4.18	3.12	2.25	3.95	7998
Boursoufflé.	76.29	89.27	4.85	4.47	1.41	4.23	7881
Id.	73.34	87.85	4.90	4.29	2.96	4.30	7831
Très-boursoufflé.	66.72	87.45	5.14	5.63	1.78	4.36	7644
Id.	68.36	87.79	4.86	5.91	1.44	4.04	7678
Id.	"	87.95	5.24	5.41	1.40	4.49	7894
Boursoufflé.	"	84.67	5.29	7.94	2.10	4.18	7558
Id.	"	83.87	5.42	7.03	3.68	4.44	7573
Id.	67.33	82.04	5.27	9.12	3.57	4.00	7307
Id.	66.11	84.83	5.61	6.57	2.99	4.69	7789
Id.	61.88	82.58	5.59	9.11	2.72	4.32	7441
Id.	60.28	81.71	4.99	7.98	5.32	3.88	7248
Id.	52.77	82.12	5.27	7.48	5.13	4.23	7381
Id.	55.35	83.75	5.66	8.04	2.55	4.54	7594
Id.	59.97	81.12	5.10	11.25	2.53	3.53	7098
Id.	63.16	82.72	5.29	11.75	0.24	3.65	7236
Fritté	54.72	76.48	5.23	16.01	2.28	3.09	6626
<i>Combustibles des terrains tertiaires.</i>							
Pulvérulent.	89.5	89.77	1.67	3.99	4.57	1.49	7201
Id.	88.9	71.49	0.92	1.12	26.47	0.79	5581
Très-boursoufflé.	77.8	89.50	4.83	4.67	1.00	4.27	7945
Fritté	53.3	75.38	4.74	9.02	1.86	3.00	6716
Pulvérulent	51.2	63.28	4.35	13.17	19.20	2.77	5443
Fritté	42.5	72.94	5.45	17.53	4.08	3.35	6438
Id.	42.0	75.41	5.79	17.91	0.89	3.64	6603
<i>Combustibles des terrains tertiaires.</i>							
Pulvérulent.	49.1	70.49	5.59	18.93	4.99	3.32	6225
Id.	41.1	63.88	4.58	18.11	13.43	2.41	5495
Id.	48.5	71.71	4.85	21.67	1.77	2.25	6024
Id.	49.5	70.02	5.20	21.77	3.01	2.59	5997
Analogue au char- bon de bois.	38.9	61.20	5.00	24.78	9.02	2.03	5173
"	36.1	63.29	4.98	26.24	5.49	1.83	5271
"	"	56.04	5.70	36.07	2.19	1.38	4597
Boursoufflé.	27.4	73.79	7.46	13.79	4.96	5.81	7218
Id.	39.0	75.85	7.25	12.96	3.94	5.70	7341
Id.	9.0	79.18	9.30	8.72	2.80	8.26	8339

D'après l'examen de ce tableau, on est conduit à admettre 7500 pour la puissance calorifique de la houille et de l'antracite; c'est du reste la valeur que des expériences faites en grand semblent assigner à la puissance calorifique de ces combustibles (211).

Dans les foyers, la houille donne une quantité de cendres plus considérable qu'à l'analyse; cela est dû aux parcelles de coke qui tombent de la grille et qui échappent à la combustion. Voici les quantités de cendres recueillies dans le cendrier, à la manufacture des tabacs de Paris, en opérant sur plus de 600 kilog. de houille.

Houille dite ancien Anzin	0.079
<i>Id.</i> de Newcastle (collante)	0.071
<i>Id.</i> de Denain (collante)	0.082
<i>Id.</i> dite nouvel Anzin (collante)	0.057
<i>Id.</i> de Decize (collante)	0.101
<i>Id.</i> des veines de Mathon et du Buisson (Belgique)	0.095
<i>Id.</i> dite Flenu, première qualité	0.095

Dans les cas ordinaires de la pratique, les houilles donnent dans le cendrier un résidu variant de 10 à 20 pour cent, 15 à 16 en moyenne.

La houille se vend à la voie qui équivaut à 15 hectolitres ras ou à 12 hectolitres combles; c'est l'hectolitre comble que l'on emploie généralement dans les mines.

POIDS moyen de l'hectolitre ras de houilles de différentes localités.

Houille de la mine de Labarthe	88 kilog.
<i>Id.</i> d'Auvergne et de Blanzy	87
<i>Id.</i> de la mine de Combelle	86
<i>Id.</i> de la mine de Lataupe	85
<i>Id.</i> de la mine de Saint-Étienne	84
<i>Id.</i> de Decize	83
<i>Id.</i> du Creusot	79
<i>Id.</i> de Mons	80

D'après M. Landrin, sur les 25 000 000 de quintaux métriques de houille exploités annuellement en France, plus de 12 000 000 de menu restent sans usage. La houille menue n'a presque pas de valeur: ainsi, à Saint-Étienne, le gros charbon se vend 2 fr. les 100 k. la gaillette 1,25 et le menu seulement 25 à 50 cent. Ce charbon menu ne sert généralement qu'à la fabrication du coke, ou à la fabrication des briquettes (pains de pâte de houille et de 1/15 d'argile); il n'y a qu'en France qu'on le brûle sur les grilles.

M. Pécelet, sans avoir fait d'expériences directes pour déterminer la quantité de chaleur rayonnée dans la combustion de la houille, pense qu'elle est plus considérable que pour le charbon de bois (214).

219. *Coke.* La perte de chaleur due à la carbonisation de la houille est près de moitié de la chaleur produite par la combustion complète de la houille.

La quantité de noir de fumée qu'on peut recueillir d'un four à coke est à peu près la 30^e partie de la houille; et le poids du coke, à peu près moitié de celui de la houille qui l'a produit.

La puissance calorifique du coke est moyennement de 6000 unités (211).

Un mètre cube de coke tel qu'on l'emploie dans les hauts-fourneaux, pèse ordinairement 400 kilog. A Paris, le coke des usines à gaz pèse de 30 à 35 kilog. l'hectolitre comble.

On carbonise la houille, soit en meules, comme on le fait pour le bois, soit en vases clos, comme dans la fabrication du gaz de l'éclairage.

Les meules ont 5 à 6 mètres de diamètre sur 1 mètre de hauteur, et l'opération dure de 40 à 48 heures; au lieu de faire les tas circulaires, on leur donne de préférence la forme d'un demi-cylindre qui a de 10 à 20 mètres de longueur sur 2 à 3 mètres de largeur et 0^m,60 de hauteur.

En France, on carbonise la houille dans des fours circulaires, ou elliptiques, ou encore cylindriques construits en briques. Les charges varient de 20 à 25 hectolitres de houille, et l'opération dure ordinairement 24 heures.

Dans les fours, le produit en poids est plus grand que dans les meules, et en volume il est plus petit. Dans les grands appareils, le volume du coke est ordinairement égal à celui de la houille; cepen-

dant, pour la houille grasse, le volume du coke excède quelquefois celui de la houille de 30 pour cent, souvent il l'excède de 5 à 15 pour cent; mais pour la houille maigre, il est ordinairement plus petit.

Le coke préparé en vase clos, comme dans la préparation du gaz de l'éclairage, ne peut être employé à la métallurgie du fer.

PERTE en poids due à la distillation de quelques houilles, d'après des expériences faites à la manufacture des tabacs, par MM. Clément, Gueniveau et Lefroy.

Houille de Blanzv (Saône-et-Loire)	0.44
Newcastle	0.395
Flenu, première variété (Mons)	0.39
Houille de Decize (Nièvre)	0.305
<i>Id.</i> des veines de Mathon et du Bulsson (Belgique)	0.36
Flenu, deuxième variété	0.355
Houille dite nouvelle Anzin	0.345
<i>Id.</i> de Denain	0.325
<i>Id.</i> dite ancien Anzin	0.255

M. Pécelet pense que la chaleur rayonnée dans la combustion du coke est plus considérable que pour le charbon de bois (214).

AIR NÉCESSAIRE A LA COMBUSTION.

220. *Quantité d'air nécessaire à la combustion.* L'acide carbonique étant composé de 27,36 de carbone et de 72,64 d'oxygène, 1 kilogramme de carbone exige, pour passer à l'état d'acide carbonique, $\frac{72,64 \times 1}{27,36} = 2^k,65$ d'oxygène, c'est-à-dire $\frac{2,65}{1,43} = 1^{mcu},85$ d'oxygène à 0° et sous la pression 0^m,76 (un mètre cube d'air pesant 1^k,30, et la densité de l'oxygène étant 1,1026), ou bien $\frac{1,85 \times 100}{21} = 8^{mcm},81$ d'air atmosphérique à la même température et à la même pression (l'air étant composé de 21 d'oxygène pour 79 d'azote).

L'eau étant composée de 11,1 d'hydrogène et de 88,9 d'oxygène, il s'ensuit que 1 kilog. d'hydrogène exige pour sa combustion 8 kil.

ou 5^{mcu},6 d'oxygène à 0° et sous la pression 0^m,76, ce qui équivaut à 26^{mcm},66 d'air à la même température et sous la même pression.

Connaissant alors la quantité de carbone et celle d'hydrogène en excès que contient un combustible, il sera facile de déterminer la quantité d'air théoriquement nécessaire à sa combustion.

Comme, en pratique, une quantité considérable de l'air qui passe dans le foyer échappe à la combustion, il s'ensuit que pour brûler un kilogramme de combustible, il faut une quantité d'air bien plus grande que celle théoriquement nécessaire. On estime que pour le bois 1/3 de l'air qui passe dans le foyer échappe à la combustion, et que pour les autres combustibles il y en a moitié.

C'est d'après ces suppositions que M. Pécelet a obtenu les résultats que nous consignons dans le tableau suivant, qui donne les quantités d'air théoriques et pratiques nécessaires à la combustion d'un kilogramme de quelques combustibles.

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	COMPOSITION		VOLUME D'AIR	
	Carbone.	Hydrogène en excès.	Théorique.	Pratique.
Bois parfaitement desséché	0.51	0	m. c. 4.50	6.75
Bois ordinaire à 0.20 d'eau	0.416	0	3.60	5.40
Charbon de bois	0.93	0	8.20	16.40
Tannée	"	"	3.50	7.00
Tourbe parfaitement sèche	0.58	0.02	5.64	11.28
Tourbe à 0.20 d'eau	0.464	0.016	4.51	9.02
Charbon de tourbe (0.25 de cend.).	0.75	0.0	6.60	13.20
Houille moyenne	0.88	0.05	9.05	18.10
Coke à 0.15 de cendres	0.85	0.0	7.50	15.00

221. *Volume de gaz qui passe par la cheminée d'un foyer.* Le volume de l'acide carbonique étant, à la même température et à la même pression, égal à celui de l'air qui l'a formé, si le combustible ne contenait que du carbone, le volume de gaz qui passerait par la cheminée serait égal au volume d'air qui arrive sur le foyer, ramené à la température de la cheminée; mais il passe aussi de la vapeur d'eau qui provient :

1° de l'eau contenue dans le combustible, et qui donne par kil. un volume de $1^{\text{mc}},696$ de vapeur à 100° (202), lequel, ramené fictivement à 0° ,6 devient $\frac{1,696}{1+0,364} = 1^{\text{mc}},24$; (194)

2° de l'oxygène et de l'hydrogène dans les proportions convenables pour faire de l'eau; ainsi un kil. de bois contenant ces deux gaz dans la proportion de 48 pour cent d'eau donnera un volume de vapeur, ramené fictivement à 0° , égal à $1,24 \times 0,48 = 0^{\text{m}},60$; si le bois était à 20 pour cent d'eau, ce volume de vapeur à 0° serait $1,24 (0,20+0,48 \times 0,80) = 0^{\text{m}},72$; la tannée donne à peu près le même résultat;

3° de l'hydrogène en excès. 1 kilog. d'hydrogène exigeant 8 kilog. d'oxygène pour se brûler, c'est-à-dire pour se convertir en eau (220), il en résulte que chaque kilog. d'oxygène brûlé donne $1^{\text{k}},125$ de vapeur d'eau, ou $1,24 \times 1,125 = 1^{\text{mc}},4$ de vapeur ramené fictivement à 0° ; comme 1 kilog. d'oxygène à 0° et sous la pression $0^{\text{m}},76$ occupe un volume de $0^{\text{mc}},70$ (28) il en résulte que chaque kilog. d'oxygène converti en vapeur, donne une augmentation de volume à 0° , de $1,4 - 0,7 = 0^{\text{mc}},7$; ce qui fait voir que l'augmentation de volume est égale au volume de l'oxygène brûlé, ou encore que le volume de vapeur produit est double de celui de l'oxygène. La tourbe complètement desséchée contenant encore 0,30 de son poids d'eau et 0,02 d'hydrogène en excès, l'augmentation de volume due à la vapeur d'eau, ramené fictivement à 0° , sera, par kilog. de tourbe, $0,30 \times 1,24 + 0,02 \times 8 \times 0,7 = 0^{\text{mc}},48$. En suivant une marche analogue, on déterminerait cette augmentation pour 1 kilogramme d'un combustible quelconque dont on connaît la composition; c'est ainsi qu'a été formé le tableau suivant :

TABIEAU donnant, pour 1 kilogramme de quelques combustibles : 1° le volume d'air à 0° , qui passe par le foyer pour opérer la combustion d'un kilogramme de ces combustibles; 2° le volume de vapeur provenant des causes qui viennent d'être citées, ramené fictivement à 0° ; 3° le volume total de gaz qui passe par la cheminée; 4° le volume total de gaz qui passe par la cheminée, en faisant le coefficient de dilatation à des gaz égal à 0.00364 (159), et la température $t = 300^{\circ}$ (température ordinaire des gaz dans la cheminée), ce qui donne à peu près $1 + at = 2,1$.

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	AIR froid.	VAPEUR à 0° .	VOLUME DE GAZ dans la cheminée, la température dans la cheminée étant	
			$t =$ valeur quelconque.	$t = 300$.
Bois parfaitement desséché	m. c. 6.75	m. c. 0.60	m. c. 7.35 (1 + at)	m. c. 15.38
Bois ordinaire à 0.20 d'eau.	5.40	0.72	6.12 (1 + at)	12.80
Charbon de bois.	16.40	0.0	16.40 (1 + at)	34.31
Tourbe desséchée.	11.25	0.48	11.73 (1 + at)	24.54
Tourbe ordinaire.	9.02	0.63	9.65 (1 + at)	20.19
Charbon de tourbe.	13.20	0.0	13.20 (1 + at)	27.61
Houille moyenne.	18.10	0.34	18.44 (1 + at)	38.58
Coke à 0.15 de cendres.	15.00	0.0	15.00 (1 + at)	31.38

Les nombres de ce tableau supposent que tout le combustible est brûlé; mais comme en pratique une partie du combustible tombe de la grille et échappe à la combustion, ainsi pour les houilles on obtient de 10 à 20 pour cent de résidu, on doit considérer ces nombres comme étant des maximums qui donneront toujours des résultats suffisants dans le calcul des dimensions de la cheminée. Des expériences faites à Wesserling, sur une même chaudière à vapeur, ont donné un volume de gaz sortant par la cheminée égal à 6 (1 + at.) pour le bois, et à 16 (1 + at.) pour la houille à 0,16 de résidu.

222. *Mouvement de l'air chaud dans un tuyau vertical.* Négligeant les frottements de l'air contre les parois du tuyau, si on considère la couche d'air chaud qui sort du tuyau, elle est pressée

de haut en bas par la pression atmosphérique comptée à partir du haut du tuyau, et de bas en haut par la pression atmosphérique comptée à partir du bas du tuyau, diminuée du poids de la colonne verticale d'air chaud contenue dans le tuyau; elle est donc en définitive sollicitée de bas en haut par la différence de poids de deux colonnes égales à la hauteur verticale H du tuyau, l'une d'air froid et l'autre d'air chaud; or cette différence est évidemment égale au poids d'une colonne d'air chaud égale à la dilatation de H , c'est-à-dire d'une colonne à peu près égale à $H\alpha(t-t')$ (n° 194); et on a

$$v = \sqrt{2gH\alpha(t-t)}. \quad (154)$$

H hauteur verticale du tuyau dans lequel circule l'air chaud;
 $\alpha = 0,00364$ coefficient de dilatation des gaz;
 t' température moyenne de l'air dans le tuyau, et que nous supposons constante sur toute la longueur du tuyau;
 t température de l'air extérieur;
 v vitesse avec laquelle l'air chaud s'écoule par l'orifice supérieur du tuyau.

100 parties d'air contenant 79 d'azote et 21 d'oxygène; comme le volume d'acide carbonique est égal au volume de l'oxygène qui l'a formé, et que les densités de l'azote et de l'acide carbonique sont respectivement 0,972 et 1,524, la densité de l'air entièrement brûlé est donc $\frac{0,972 \times 79 + 1,524 \times 21}{100} = 1,088$; et supposant que dans nos foyers la moitié de l'air échappe à la combustion, il en résulte que la densité des gaz qui s'échappent dans la cheminée est $\frac{1+1,088}{2} = 1,044$, densité qui diffère trop peu de celle de l'air, qui est 1, pour qu'on ne puisse les supposer égales, et prendre pour vitesse ascensionnelle de la fumée dans les cheminées, celle fournie par la formule précédente.

Le frottement contre les parois du tuyau ou de la cheminée est considérable, et en admettant que les gaz chauds se comportent comme les gaz froids (155), on peut poser, pour un tuyau vertical,

$$P - p = n \frac{Hv^2}{D}. \quad (a)$$

$P = H\alpha(t-t')$ pression qui produit l'écoulement du gaz au bas du tuyau, estimée par une colonne d'air chaud; c'est la pression nécessaire pour vaincre

les frottements du gaz dans le tuyau, et produire l'écoulement de ce gaz (P est représenté par H au n° 155).

$p = \frac{v^2}{2g}$ pression qui produit la vitesse effective v , avec laquelle le gaz sort du tuyau; p est aussi estimée en air chaud (p est représentée par h au n° 155);
 $P - p$ perte de pression ascensionnelle due au frottement;
 D diamètre du tuyau, ou côté du canal si la section est carrée; cela est indifférent, vu que le rapport de la section au périmètre est le même pour le cercle que pour le carré circonscrit, et que le frottement est proportionnel au contour de la section et en raison inverse de cette section.
 n' coefficient constant par une même nature de cheminée, et qui est égal, d'après M. Pécelet,
à 0,0127 pour les cheminées en poterie,
à 0,005 pour les cheminées en tôle,
à 0,0025 pour les cheminées en fonte,
et à 0,0025 pour toutes les cheminées tapissées de suie.

Dans cette formule on a introduit v , vitesse à l'extrémité de la conduite, au lieu de la vitesse moyenne u (155); du reste, dans le cas des cheminées, ces deux vitesses peuvent être considérées comme étant égales quand leur différence dépend seulement de la variation de pression, mais non d'un échauffement direct des gaz.

Si le canal était incliné, ou s'il faisait des circuits, on aurait, en négligeant l'influence des coudes, ce que l'on peut généralement faire dans ce cas (n° 155 page 190),

$$P - p = n' \frac{Lv^2}{D}. \quad (b)$$

$P = H\alpha(t-t')$, H étant la hauteur verticale du canal;
 L développement total du canal.

Si l'air circulait froid dans une portion de la conduite et chaud dans l'autre, la perte de force ascensionnelle se composerait de la perte dans chaque portion de la conduite, et on aurait

$$P - p = n \frac{L'v'^2}{D} + n' \frac{L''v^2}{D}.$$

$P = H\alpha(t-t')$, H étant la hauteur verticale de la partie L' de la conduite;
 L' développement du circuit d'air froid;
 L'' développement du circuit d'air chaud;

$v'^2 = \frac{v^2}{\delta^2}$ vitesse de l'air froid dans la partie L' de la conduite; δ est le rapport de la densité de l'air froid à celle de l'air chaud; comme la partie de $P - p$ correspondant à L' serait exprimée en air froid, on la convertit en

air chaud en multipliant par δ ; c'est pourquoi on a simplement remplacé v^2 par $\frac{v^2}{\delta}$ dans le premier terme du second membre de l'équation précédente. Si le diamètre de la conduite d'air froid, au lieu d'être D , était d , on aurait $v'^2 = \frac{v^2}{\delta^2} \times \frac{D^2}{d^2}$.

Supposant le diamètre de la conduite constant sur toute sa longueur, la formule précédente devient

$$P - p = n' \frac{v^2}{D} \left(\frac{L'}{s} + L'' \right). \quad (c)$$

. Remplaçant, dans les formules précédentes (a), (b) et (c), p par sa valeur $\frac{v^2}{2g}$, elles donnent respectivement

$$v = \sqrt{\frac{2gPD}{D + 2gn'H}}, \quad (a') \quad v = \sqrt{\frac{2gPD}{D + 2gn'L}}, \quad (b')$$

$$v = \sqrt{\frac{2gPD}{D + 2gn' \left(\frac{L'}{s} + L'' \right)}}. \quad (c')$$

M. Pécelet a reconnu par expérience que la formule (b') se vérifiait d'une manière satisfaisante.

Pour une cheminée verticale rétrécie à sa partie supérieure, la formule (a) devient, en remarquant que la résistance due au frottement est proportionnelle aux carrés des vitesses, et par conséquent en raison inverse des carrés des sections,

$$P - p = n' \frac{Hv^2}{D} \times \frac{s^2 K^2}{S^2},$$

d'où on tire, en faisant $p = \frac{v^2}{2g}$,

$$v = \sqrt{\frac{2gPDS^2}{DS^2 + 2gn'Hs^2K^2}}. \quad (a'')$$

- S section de la cheminée;
s section de l'orifice d'écoulement;
K coefficient de contraction (154).

Si on suppose $\frac{S}{s}$ très-grand, on pourra négliger $2gn'Hs^2K^2$ près de DS^2 , et la formule précédente donnera

$$v = \sqrt{2gP};$$

c'est-à-dire que le frottement sera nul, et la vitesse de sortie par l'orifice sera égale à la vitesse théorique. On obtient à peu près la vitesse maxima, quand le diamètre de la cheminée est égal à 2 ou 3 fois celui de l'orifice; au-dessus de cette limite, la vitesse n'augmente plus que d'une manière presque insensible.

Pour une cheminée rétrécie à la partie supérieure et sinueuse, la formule (b') devient, d'après les considérations qui ont servi à établir la formule (a''),

$$v = \sqrt{\frac{2gPDS^2}{DS^2 + 2gn'Ls^2K^2}}, \quad (b'')$$

et la formule (c'),

$$v = \sqrt{\frac{2gPDS^2}{DS^2 + 2gn's^2K^2 \left(\frac{L'}{s} + L'' \right)}}. \quad (c'')$$

Cheminée rétrécie à la partie inférieure. D'après les expériences de M. Pécelet, une cheminée circulaire en fonte de 17 mètres de hauteur, et de 0^m,0314 de section ou de 0^m,20 de diamètre, ayant fonctionné d'abord tout ouverte, et ensuite fermée successivement à la partie inférieure, par des plaques portant des orifices circulaires de 0^m,11, 0^m,055 et 0^m,0275 de diamètre, les vitesses v observées ont été respectivement 4^m,73, 2^m,84, 1^m,70, et 0^m,81.

Dans ces expériences la vitesse théorique $v = \sqrt{2gHa}$ ($t-t'$) due à la colonne d'air chaud, était de 10^m,74, et la résistance $P-p$ due au frottement, de 0,21 v^2 .

De ces mêmes expériences, il résulte que, pour une même cheminée, la vitesse dans le rétrécissement inférieur est d'autant plus grande que le diamètre de ce rétrécissement est plus petit. Dans la dernière expérience que nous venons de citer, la section de la cheminée était 0^m,0314, et celle de l'orifice circulaire d'entrée, 0^m,0006; d'où il résulte que la vitesse de la fumée dans la chemi-

née ayant été $0^m,81$, dans l'orifice inférieur elle était $\frac{0,81 \times 0,0314}{0,0006} =$

$42^m,39$, c'est-à-dire à peu près égale à 4 fois celle $10^m,74$, due à la colonne d'air chaud contenue dans la cheminée.

La vitesse dans l'étranglement augmente encore quand on raccorde l'orifice avec la cheminée par une partie évasée.

On n'a pas encore donné d'expression analytique de la résistance qui résulte d'un étranglement brusque; seulement, M. Pécelet a conclu de ses expériences :

- 1° Que dans une conduite d'air, la perte de hauteur motrice produite par un étranglement est beaucoup plus petite que la hauteur qui correspond à la différence des vitesses dans l'étranglement et après;
- 2° Que la perte réelle est un peu plus grande que la différence des hauteurs correspondant aux vitesses, multipliée par le rapport de la surface de l'orifice à celle du canal qui suit l'étranglement;
- 3° Que le rélargissement brusque d'un canal, du moins dans une certaine étendue et dans une certaine limite, a peu d'influence.

223. *Maximum de tirage des cheminées.* La vitesse effective de l'air dans une cheminée peut être mise sous la forme

$$v = \sqrt{\frac{2g}{m} Ha(t-t')}$$

ou plus simplement,

$$v = \sqrt{\frac{Ha(t-t')}{M}}$$

v , H , a , t' et t ont les mêmes significations qu'au n° 222.
 m et M nombres constants pour une même cheminée, mais qui varient suivant la nature, la forme et les dimensions des cheminées.

Désignant par V le volume d'air écoulé en une seconde par une cheminée carrée dont le côté est D , on a, en conservant les mêmes annotations qu'au n° 222,

$$V = D^2 v = D^2 \sqrt{\frac{Ha(t-t')}{M}}$$

et si on désigne par Q , le poids de ce volume d'air, on aura

$$Q = D^2 \sqrt{\frac{Ha(t-t')}{M}} \times \frac{1^k,3}{1+at'} = 11,3D^2 \sqrt{\frac{Ha}{M} \cdot \frac{t-t'}{(1+at')^2}}$$

$1^k,3$ poids d'un mètre cube d'air à 0° et sous la pression $0^m,76$ (27);

$\frac{1^k,3}{1+at'}$ poids d'un mètre cube d'air à la température de la cheminée (194).

La dernière expression de la valeur de Q , fait voir que, pour une valeur déterminée de H , cette dépense est maximum quand $\frac{t-t'}{(1+at')^2}$ est maximum, ce qui a lieu, d'après les règles du calcul différentiel, quand on a $t' = \frac{1}{a} + 2t = 274 + 2t$: ainsi en supposant $t=0$, le maximum de tirage correspond à $t'=274^\circ$; si $t=12^\circ$, ce qui a lieu moyennement, le maximum de tirage correspond à $t'=298$, soit, pour la pratique, $t'=300$.

M. Pécelet en supposant $t=0$ a dressé un tableau des valeurs

de $\sqrt{\frac{t'}{(1+at')^2}}$ correspondant aux différentes valeurs de t' .

De ce tableau, il résulte que quand $t=0$, le tirage d'une cheminée reste à peu près constant pour des valeurs de t' comprises entre 250° et 300° , et qu'il varie très-peu pour des valeurs de t' comprises entre 210° et 350° .

Supposant $t'=298^\circ$ et $t=12$, on a $\sqrt{\frac{t-t'}{(1+at')^2}} = 8,1$, et l'effet maximum produit par le tirage de la cheminée peut être mis sous la forme

$$1,3 \times D^2 \times 8,1 \sqrt{\frac{Ha}{M}} = 0,63D^2 \sqrt{\frac{H}{M}}$$

224. *Dimensions des cheminées.* En appelant L' le développement du canal de fumée depuis le foyer jusqu'au pied de la cheminée, D le diamètre de ce canal, que l'on suppose être aussi celui de la cheminée, on a, d'après la formule (b'), n° 222, en conservant les mêmes annotations que dans ce numéro et en remplaçant P par $Ha(t-t')$,

$$v = \sqrt{\frac{2gHa(t-t')D}{D+2gn'(L'+H)}}$$

Cette formule fait voir que la vitesse ascensionnelle de la fumée

est d'autant plus grande que H est plus grande; rarement, pour les cheminées d'usines, H a moins de 12 mètres et plus de 30 mètres.

Pour une cheminée ordinaire de chaudière à vapeur, la perte de pression due aux différentes causes qui diminuent le tirage, peut être exprimée, d'après la formule (b), n° 222, par

$$P - p = P - \frac{v^2}{2g} = n' \frac{Lv^2}{D} + Rv^2,$$

d'où on tire

$$v = \sqrt{\frac{2gPD}{D + 2gn'L + 2gRD}} \quad (\text{formule (b) n° 222}).$$

L longueur du canal de diamètre D qui produirait la même résistance que la totalité du circuit de la fumée depuis le foyer jusqu'en haut de la cheminée; pour les chaudières à vapeur la section des carneaux étant égale à celle de la cheminée, il en résulte que L est égale à la totalité de ce circuit.

$n' \frac{Lv^2}{D}$ perte de pression due au frottement de la fumée contre les parois des carneaux et de la cheminée;

Rv² somme des résistances dues au passage de l'air dans le foyer; d'après M. Pécllet, les foyers étant bien construits et ayant un décimètre carré de surface de grille par 1^k à 1^k,2 de houille à brûler par heure, on a, en tenant une épaisseur de 6 à 8 centimètres de houille sur la grille, R = 0,61, et par suite 2gR = 12.

Comme on a n' = 0,0025 pour une cheminée quelconque tapissée de suie, on a donc

$$v = \sqrt{\frac{2gPD}{13D + 0,05L}} \quad (a)$$

Soit maintenant V le volume d'air chaud qui doit s'écouler par la cheminée en une seconde, on a

$$v = \frac{QV_1(1 + 0,00364t')}{3600} \quad (b)$$

Q poids du combustible à brûler par heure;

V₁ volume d'air froid nécessaire à la combustion d'un kilogramme de combustible (221).

On a aussi en supposant la cheminée carrée,

$$V = vD^2;$$

et en remplaçant v par sa valeur (a), on conclut

$$v = \sqrt{\frac{2gPD^2}{13D + 0,05L}}$$

d'où on tire

$$D^4 = \frac{V^2(13D + 0,05L)}{2gP} \quad (c)$$

Dans cette équation tout est connu à l'exception de D dont on pourra alors tirer la valeur; pour y arriver, on néglige le terme 0,05L dans l'équation précédente, ce qui donne

$$D^4 = \frac{13V^2}{2gP}; \quad (d)$$

de cette nouvelle équation on tire une première valeur de D, on la substitue dans le second membre de l'équation (c), de laquelle on tire une 2^e valeur de D plus exacte que la première et qu'on peut adopter en pratique. Cependant, si on voulait plus d'exactitude encore, on placerait cette 2^e valeur de D dans le second membre de l'équation (c), qui fournirait une 3^e valeur de D plus exacte encore que la 2^e sans cependant en différer d'une manière sensible. En continuant ainsi de suite, les valeurs de D se rapprocheraient de plus en plus de la valeur satisfaisant à l'équation (c).

Application. Soit à déterminer le côté D de la section d'une cheminée carrée de 15 mètres de hauteur, le circuit total de la fumée ayant 50 mètres de développement et une section constante, et la quantité de houille brûlée par heure étant de 80 kilog.

Supposant t' = 298° et t = 12, on a

$$P = 15 \times 0,00364(298 - 12) = 15^m,62, \quad (222)$$

et la vitesse théorique $\sqrt{2gP} = 17^m,50$.

On a V₁ = 18^{mc},44, et la formule (b) donne

$$v = \frac{80 \times 18,44(1 + 0,00364 \times 298)}{3600} = 0^m, \text{ cub. } 854.$$

La formule (d) donne alors

$$D = \sqrt[4]{\frac{13 \times 0,854 \times 0,854}{2 \times 9,8088 \times 15,62}} = 0^m,42. \quad (1^re)$$

Substituant cette première valeur de D dans l'équation (c), on a

$$D = \sqrt[5]{\frac{0,854 \times 0,854(13 \times 0,42 + 0,05 \times 50)}{2 \times 9,8088 \times 15,62}} = 0,453. \quad (2^{\circ})$$

Remplaçant 0,42 par 0^m,453 dans cette équation, on en tirerait D = 0^m,458, 3^e valeur sensiblement égale à la 2^e.

Supposant toujours $t' = 298^{\circ}$, $t = 12^{\circ}$ et le poids de houille à brûler par heure égal à 80 kilog., on trouve, en supposant constant et égal à 35 mètres l'espace que parcourt la fumée avant d'entrer dans la cheminée, mais en faisant varier la hauteur de la cheminée, les résultats du tableau suivant.

DÉSIGNATION DES RÉSULTATS.	HAUTEUR DE LA CHEMINÉE.				
	10 ^m .	15 ^m .	20 ^m .	25 ^m .	30 ^m .
Circuits entiers de la fumée	45 ^m	50 ^m	55 ^m	60 ^m	65 ^m
Valeurs de P = Ha (t' - t).	10.41	15.62	20.82	26.03	31.23
Vitesses théoriques $\sqrt{2gP}$	14.29	17.50	20.21	22.60	24.75
Vitesses pratiques $\frac{V}{D^2} = \frac{0^m.854}{D^2}$	3.49	4.16	4.71	5.16	5.55
Rapports de ces vitesses.	4.10	4.20	4.29	4.38	4.46
Deuxièmes valeurs de D.	0.495	0.453	0.426	0.407	0.392
Sections D ² en décimètres carrés.	24.50	20.52	18.15	16.57	15.37
Poids de houille brûlés par heure et par décimèt. carré de section des cheminées.	3 ^k .27	3 ^k .90	4 ^k .41	4 ^k .83	5 ^k .20

La formule (c) donne des résultats qui s'accordent bien avec les dimensions des cheminées des chaudières à vapeur qui donnent le plus d'effet utile. Il vaut mieux augmenter un peu les résultats donnés par cette formule que de les diminuer, on obtient un excès de tirage qu'on modère avec le registre; mais comme généralement la cheminée va en se rétrécissant de bas en haut, il suffit de prendre pour sa section en haut les résultats que donne la formule.

Il sera facile de modifier les résultats du tableau précédent pour la généralité des cas qui pourront se présenter en pratique, et éviter de faire les calculs qu'exigent les formules (d) et (c).

Pour une cheminée ordinaire d'appartement, l'expérience prouve qu'une section de 3 à 4 décimètres carrés est presque toujours suffisante (258).

225. *Cheminées communes à plusieurs foyers.* Lorsqu'une cheminée sert pour plusieurs foyers, on fait sa section égale à la somme des sections des cheminées de tous les foyers en particulier; la section ainsi obtenue est un peu grande, mais l'excès de tirage qui en résulte est très-avantageux.

226. *Température de l'air sortant du foyer, et perte de chaleur due à la température de l'air dans la cheminée.*

La température de l'air sortant du foyer est donnée par la formule

$$T = \frac{E \times 4}{V \times 1,3}.$$

- T température des gaz sortant du foyer;
 E puissance calorifique du combustible;
 4 rapport approché de la capacité calorifique de l'eau à celle de l'air (196); la formule suppose la capacité calorifique de la fumée égale à celle de l'air;
 V volume de fumée ramené à 0° produit par un kilogramme de combustible;
 1^k,3 poids d'un mètre cube d'air ou de fumée à 0° (27).

La perte de chaleur due à la température que conserve l'air en arrivant à la cheminée est, pour un kilogramme de combustible,

$$P = E \frac{t'}{T}.$$

- P perte de chaleur en unités (195);
 E puissance calorifique du combustible;
 t' température de l'air dans la cheminée;
 T température de l'air sortant du foyer.

Des deux formules précédentes on conclut les résultats du tableau suivant. Ces résultats supposent la température de l'air extérieur égale à 0°, et la température de la fumée dans la cheminée égale à 300°.

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	POUISSANCE calorifique.	VOLUME de gaz et de vapeur produit.	TEMPÉRATURE de la fumée sortant du foyer.	PERTE de chaleur P par la cheminée.
Bois parfaitement sec.	unités. 3600	m. c. 7.35	1507°	unités. 717
Bois ordinaire à 0.20 d'eau.	2800	6.12	1408	597
Houille moyenne.	7500	18.44	1251	1798
Coke à 0.15 de cendres.	6000	15.00	1231	1462
Tourbe complètement desséchée.	4800	11.73	1259	1144
Tourbe ordinaire à 0.20 d'eau	3600	9.65	1148	941
Charbon de bois.	7000	16.40	1313	1599

Ce tableau fait voir que la chaleur que la fumée emporte dans la cheminée est le $\frac{1}{4}$ environ de la chaleur totale développée par le combustible.

227. *Construction des cheminées.* Quand les cheminées en briques sont basses, on peut les faire prismatiques à l'intérieur, en ne donnant un fruit qu'à leurs parements extérieurs; quand elles sont très-élevées, on leur donne une forme pyramidale à l'intérieur et à l'extérieur.

L'épaisseur des grandes cheminées d'usines est ordinairement de 0^m,11, la largeur d'une brique, à la partie supérieure; la pente intérieure est de 0^m,015 à 0^m,018 par mètre, et la pente extérieure de 0^m,024 à 0^m,030. Comme l'épaisseur de la maçonnerie va en diminuant à mesure qu'on s'élève, afin de ne pas être obligé de tailler les briques, on construit la cheminée pyramidale à l'extérieur, et on rachète le fruit intérieur par des ressauts brusques de 0^m,11.

Lorsque la température de la fumée ne dépasse pas 300°, on peut faire les cheminées en briques ordinaires reliées par un mortier de chaux et de sable fin, le plâtre ne doit être employé que pour des températures inférieures à 100°; si la température de la fumée atteint 500°, le parement intérieur de la cheminée doit être en briques réfractaires, surtout à la partie inférieure.

228. *Tirage produit par un ventilateur.* Aux bains Vigier, la fumée, après avoir circulé autour de la chaudière, passe simultanément dans 12 petits tubes de 20 mètres de longueur plongés dans

l'eau froide qui doit servir à alimenter la chaudière. La fumée, en sortant de ces tubes dans lesquels elle se refroidit complètement, est foulée dans la cheminée par un ventilateur qui a 0^m,80 de diamètre et 0^m,40 de largeur; le tuyau d'écoulement a 0^m,20 de diamètre. Ce ventilateur, mû par un seul homme, fait 40 tours par minute, et suffit à l'appel de la fumée provenant de 0,44 de stère de bois pelar, pesant 171 kilogrammes, brûlés en deux heures, ce qui fait par heure 85 kilog. qui équivalent à peu près à 42 kilog. de houille. Supposant que le tirage à l'air chaud absorbe le $\frac{1}{4}$ de la chaleur totale développée par le combustible, un homme, dans les circonstances défavorables que nous venons de citer, a donc produit l'effet de $\frac{42}{4} = 10^k,5$ de houille qui correspondent à la force de 2,5 chevaux-vapeur ou de 17 hommes.

Dans une brasserie de Louvain, un ventilateur absorbant l'effet de 6 chevaux suffit en une heure à la combustion de 1000 kilog. de houille, dont le $\frac{1}{4}$, c'est-à-dire 250 kilog., serait absorbé par le tirage à l'air chaud; dans ce cas, 6 chevaux en remplacent donc de 50 à 60.

Pour un cheval-vapeur, on brûle en 10 heures à peu près 40 kil. de houille qui coûtent 2 fr. à Paris; un homme-vapeur pendant 10 heures coûte donc $\frac{2}{7} = 0',30$; comme il faut 2 hommes vivants pour un travail journalier de 10 heures, ce travail coûterait donc 4 fr. environ à Paris, c'est-à-dire autant que celui de 2 chevaux-vapeur, ou que 14 fois celui d'un homme-vapeur. Cela suppose toutefois qu'on néglige l'entretien de la machine, l'intérêt des frais d'établissement, et l'amortissement de ces frais; du reste, ces causes de dépense sont peu de chose, quand la force est prise sur une machine qui commande déjà d'autres appareils.

229. *Tirage produit par un jet de vapeur.* On n'a pas encore fait d'expériences pour déterminer le rapport entre le travail développé par un jet de vapeur qui se dégage suivant l'axe d'un tuyau ouvert par les deux bouts, et celui absorbé par le poids d'air qu'il met en mouvement; mais il est probable que tout le travail dépensé par la vapeur est utilisé pour imprimer le mouvement à l'air et vaincre le frottement contre les parois du tuyau. v étant la vitesse

de la vapeur à l'origine du tuyau, et v' sa vitesse à la sortie, le travail dépensé par un poids P de vapeur est

$$\frac{P(v^2 - v'^2)}{2g} \quad (16)$$

Ce mode de tirage est employé dans les machines locomotives; la fumée en sortant du foyer traverse simultanément, pour se rendre à la cheminée, de 80 à 170 tubes de 0^m,04 à 0^m,054 de diamètre intérieur et de 2^m,10 à 2^m,75 de longueur. Le diamètre de la cheminée varie de 0^m,32 à 0^m,35, d'où il résulte que le volume d'air qui passe en une seconde par la cheminée variant de 3,72 à 8 mètres cubes, la vitesse d'écoulement varie de 46 à 83 mètres par seconde, au lieu de 2 à 3 mètres qu'elle pourrait être par le simple tirage de la cheminée (224).

D'après MM. Flachet et Petiet, en négligeant les frottements de l'air dans la cheminée, le travail produit par le jet de vapeur n'est que de la 1/2 au 1/6 du travail total qu'il pourrait produire.

FOYERS.

230. *Dimensions des différentes parties d'un foyer.* L'ouverture du cendrier doit être assez grande pour laisser passer l'air froid nécessaire à la combustion; elle doit être au moins égale à la section des carneaux, et il convient, pour ne pas brûler de combustible inutilement, de la garnir d'une porte que l'on ferme pendant les heures de repos.

Les barreaux des grilles ont ordinairement de 0^m,03 à 0^m,024 de largeur, et sont espacés entre eux de 0^m,01 à 0^m,008; quelquefois cette épaisseur est réduite à 0^m,015, avec toujours environ 1/4 d'espace libre. Les combustibles qui se divisent sur la grille exigent des intervalles très-faibles entre les barreaux.

Les barreaux de fer sont rectangulaires, et souvent carrés; ceux en fonte sont plus larges en haut qu'en bas, afin que, malgré leur plus grande hauteur, qui atteint de 0^m,08 à 0^m,10 au milieu pour des barreaux de 1 mètre de longueur, la grille ne s'encrasse pas. Les barreaux en fonte ont un peu la forme d'un solide d'égale résistance (174); ainsi, des barreaux ayant de 0^m,08 à 0^m,10 de hauteur au milieu n'auraient que de 0^m,05 à 0^m,06 aux extrémités.

mais avec une épaisseur supérieure uniforme. Des petites saillies latérales venues aux extrémités des barreaux, ainsi qu'au milieu quand ils sont longs, en maintiennent l'écartement.

La surface des grilles est de 1 décimètre carré pour 1 kilog. ou 1,2 kilog. de houille à brûler par heure; cependant on va à 1^k,5 et même à 2 kilog. sans que l'effet soit sensiblement diminué; pour quelques grilles, cette consommation a été réduite jusqu'à 0^k,3, mais alors il faut que le tirage à travers la grille soit faible, comme, par exemple, sous les chaudières de plomb (236). D'après quelques résultats obtenus, on peut admettre que les grandes grilles sont favorables à l'effet produit par le combustible, mais il est plus difficile d'en obtenir un feu d'une intensité uniforme.

L'épaisseur de houille sur la grille varie de 0^m,05 à 0^m,08, suivant qu'elle est plus ou moins menue. Pour les combustibles qui ne donquent pas de flamme, comme le coke et les houilles sèches, dont la consommation varie de 0^k,6 à 0^k,75 par décimètre carré de surface de grille par heure, l'épaisseur de la couche de combustible sur la grille varie de 0^m,20 à 0^m,30. Dans les locomotives, où le tirage est très-grand, chaque décimètre carré de surface de grille brûle environ 4^k,30 de coke par heure. Pour le bois, la surface de la grille est de 3 décimètres carrés par 10 kilog. de bois à brûler par heure.

Pour la houille, la distance entre la grille et la chaudière varie de 0^m,30 à 0^m,35, elle atteint 0^m,40 et même 0^m,45 pour les grands foyers; pour la tourbe, cette distance est de 0^m,50; pour le coke, elle est de 0^m,60; et pour le bois, de 0^m,60 à 0^m,75.

Les portes de foyer ont de 0^m,25 à 0^m,30 de hauteur, avec une largeur seulement suffisante pour pouvoir facilement charger et tisonner la grille. La distance de la porte au devant de la grille varie de 0^m,30 à 0^m,45, suivant les dimensions du foyer.

231. *Combustion des gaz sortant d'un haut-fourneau.* La quantité d'air nécessaire à la combustion des gaz qui sortent d'un haut-fourneau est à peu près les 4/5 de la quantité introduite dans le haut-fourneau, et la pression avec laquelle il convient de l'injecter dans les gaz est de 0^m,15 à 0^m,16 d'eau. MM. Thomas et Laurens ont utilisé les gaz des hauts-fourneaux pour le chauffage des fours à pudler. La grille se compose d'une cinquantaine de petites buses concentriques à de plus grandes; par les premières arrive l'air amené

préalablement à la température de 400° à 500°, et à la pression de 0^m,15 à 0^m,20 d'eau, et par les secondes arrivent les gaz amenés à la température de 200° à 300° et à la pression de 0^m,05 à 0^m,06 d'eau. Les buse à air n'arrivent pas jusqu'aux extrémités des buses à gaz.

CHAUDIÈRES A VAPEUR.

232. *Transmission de la chaleur à travers des plaques métalliques.*

On admet en physique que la quantité de chaleur qui passe à travers une plaque homogène à faces parallèles, est proportionnelle à la différence de température des deux faces de la plaque, et en raison inverse de son épaisseur. M. Pécelet a cherché à vérifier cette loi par expérience, et il a reconnu que pour des plaques métalliques chauffées d'un côté par l'eau ou par la vapeur, et refroidies de l'autre par l'eau, l'influence de l'épaisseur des plaques disparaissait quand on ne renouvelait pas convenablement l'eau en contact avec leurs faces, mais que la loi relative à l'épaisseur se vérifiait quand l'eau était vivement agitée. M. Pécelet a aussi reconnu que la quantité de chaleur qui passerait en une seconde à travers une plaque de plomb de 1 mètre carré de surface et de 0^m,001 d'épaisseur, pour une différence de température de 1° entre les deux faces, serait de 3,84 unités. Alors, en admettant les coefficients de conductibilité des métaux de M. Desprets (186), la quantité de chaleur qui passerait à travers une même plaque placée dans les mêmes circonstances, serait pour

L'or.	21,39	Le fer.	8,01	Le marbre.	0,50
Le platine.	20,99	Le zinc.	7,77	La porcelaine.	0,26
L'argent.	20,81	L'étain.	6,50	La terre cuite.	0,24
Le cuivre.	19,16	Le plomb.	3,84		

D'après Clément, une plaque de cuivre de 1 mètre carré de surface et de 2 à 3 millimètres d'épaisseur, dont une face est chauffée par de la vapeur à 100°, et dont l'autre est refroidie par de l'eau à 28°, condense par heure 100 kilog. de vapeur, ce qui fait seulement 0,21 d'unité de chaleur qui passent à travers la plaque, par seconde et pour une différence de température de 1°. D'après MM. Thomas et Laurens, au moyen d'un tuyau de cuivre d'un

petit diamètre, on aurait condensé 400 kilog. de vapeur par mètre carré de surface de tuyau, par heure, pour une différence de température de 45°, ce qui ferait 1,36 unité de chaleur qui passeraient à travers 1 mètre carré de surface de tuyau, par seconde, pour une différence de température de 1°. On doit sans doute attribuer l'excès de ce résultat sur celui de Clément, à ce que l'air étant chassé dans le tuyau, il n'empêchait pas le contact de la vapeur avec les parois refroidissantes. D'après ces résultats et celui du tableau précédent, on voit la différence énorme des quantités de chaleur qui passent à travers une plaque de cuivre, suivant qu'on agite ou non le liquide en contact.

Lorsqu'on chauffe un liquide par un gaz, comme dans les chaudières à vapeur, ou un gaz par un autre, comme dans les calorifères, on peut, en pratique, négliger l'influence de l'épaisseur du métal.

233. *Métaux employés à la fabrication des chaudières à vapeur.* Ces métaux sont la fonte, la tôle et le cuivre rouge; mais on emploie généralement la tôle, à cause de sa grande ténacité et de son prix modéré; cependant, pour les petits appareils, il convient d'employer le cuivre, qui se courbe facilement sur un très-petit rayon.

D'après les expériences de Tredgold et celles de Clément Desormes, la fonte, la tôle rouillée et le cuivre noirci laissent passer à peu près la même quantité de chaleur dans le même temps, la fonte étant au premier rang et le cuivre au dernier; dans les chaudières à vapeur, la couche de suie tend encore à rendre égaux les effets de ces métaux.

TABLEAU des épaisseurs, des poids et des prix d'achat relatifs de trois chaudières, l'une en fonte, l'autre en tôle et l'autre en cuivre, ayant même surface de chauffe et résistant également.

DÉSIGNATION des chaudières.	ÉPAISSEURS relatives.	DENSITÉS.	POIDS relatifs.	PRIX de 100 kilogr.	PRIX RELATIFS à surface égale.
Fonte.	12	7.29	87.48	45	3915 ou 1.00
Tôle.	2	7.78	15.56	140	2240 ou 0.57
Cuivre.	3	8.87	26.61	400	10640 ou 2.72

TABLEAU des prix de revente des mêmes chaudières usées.

DÉSIGNATION des chaudières.	VENTE de 100 kilogram.	ACHAT de 100 kilogram.	PERTE sur 100 kilogram.	PERTES RELATIVES sur les chaudières.
Fonte	fr. 12	fr. 45	fr. 33	28.87
Tôle	24	140	116	18.05
Cuivre	250	100	150	39.92

La durée relative de ces diverses chaudières est une considération très-importante qui doit guider dans leur choix ; mais cette durée, qui dépend des qualités de la matière dont la chaudière est fabriquée et de l'usage de la chaudière, est tout à fait indéterminée ; tout ce que l'on peut dire, c'est que, toutes choses égales d'ailleurs, les chaudières en cuivre ont une plus grande durée que les autres.

Si on suppose, par exemple, que les durées des chaudières en fonte, en tôle et en cuivre sont respectivement 10 ans, 10 ans et 20 ans ; il faut doubler les pertes relatives des chaudières en fonte et en tôle pour avoir toutes ces pertes à durées égales, pertes auxquelles il faut encore ajouter l'intérêt du capital premier pendant ces durées égales ; il convient également d'avoir égard aux frais de reconstruction du fourneau. C'est surtout l'intérêt du capital premier qui donne l'avantage aux chaudières en tôle et en fonte, sur celles en cuivre ; on rejette les chaudières en fonte à cause de leur éclat facile par un changement brusque de température.

231. *Surface de chauffe des chaudières à vapeur.* D'après M. Christian. un mètre carré de surface de chaudière en fonte, entièrement plongé dans la flamme d'un feu violent, produit 100 kilog. de vapeur à l'heure. Clément a obtenu les mêmes résultats pour une chaudière en cuivre de 3 millimètres d'épaisseur placée dans les mêmes circonstances. Cependant les chaudières ordinaires les mieux établies, c'est-à-dire celles qui produisent de 6 à 6,50 kilog. de vapeur par kilogramme de houille, avec dégagement de fumée à 300°, ne produisent en une heure que de 15 à 20 kilog. de vapeur par mètre carré de surface de chauffe. Des constructeurs comptent quelquefois sur 25 kilog. ; mais il vaut mieux déterminer la surface de chauffe en ne comptant que sur une production de 20 kilog. au maximum.

Les chaudières d'établissements de bains ne produisent que 12 kil. environ de vapeur, ou mieux ne laissent passer que la quantité de chaleur équivalente à cette production, par mètre carré de surface de chauffe et par heure. Les chaudières de bateaux en produisent de 30 à 35 kilog., mais elles consomment beaucoup de combustible.

La surface de chauffe se compose de la surface totale des bouilleurs, et de la partie de la surface de la chaudière, comprise au-dessous du niveau supérieur des carneaux, niveau qui se trouve à 0^m,10 ou 0^m,12 au-dessus de l'axe de la chaudière ; les parties des bouilleurs et de la chaudière, en contact avec les murettes qui divisent les carneaux, sont regardées comme surface de chauffe.

Dans les locomotives, on admet que chaque mètre carré de la surface de chauffe qui voit le foyer, produit trois fois plus de vapeur qu'un mètre carré de surface de tuyau ; et que, en considérant comme surface de chauffe (*dite surface de chauffe réduite*), la surface qui voit le foyer, augmentée du 1/3 de la surface des tubes, chaque mètre carré produit de 120 à 160 kilog. de vapeur à l'heure.

Connaissant la quantité de vapeur à produire, on détermine facilement, d'après ce qui précède, la surface de chauffe nécessaire, et par suite les dimensions de la chaudière.

Lorsque l'effet à produire exige deux chaudières, il convient d'en établir trois, afin que toujours une d'elles soit en réparation pendant que les deux autres fonctionnent ; par là, on évite les interruptions de travail.

235. *Vapeur produite par 1 kilog. de combustible.* La puissance calorifique de la houille étant 7500, et la vaporisation de 1 kil. d'eau à 0° absorbant 650 unités de chaleur (198), 1 kil. de houille devrait produire 11,54 kil. de vapeur ; mais, en pratique, le charbon qui échappe à la combustion en tombant de la grille, le rayonnement perdu du foyer, le refroidissement des différentes parties du fourneau, et la chaleur que la fumée emporte dans la cheminée font qu'on est loin d'atteindre cette limite. Pour les chaudières ordinaires les mieux établies, 1 kil. de houille ne produit que de 6 à 6,50 kil. de vapeur ; pour le plus grand nombre, il n'en produit que 5 kil. ; et pour les chaudières de bateaux, dont la surface de chauffe est petite (234), il n'en produit que de 3 à 4 kil. MM. Grouvelle et Jaunez, dans leur *Guide du chauffeur*, donnent les résultats du tableau suivant :

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	VAPEUR produite par 1 k. de combustible.	PUISSANCES calorifiques relatives.	PRESSION DE LA VAPEUR.
Houille grasse de Mons.	k. 5.00	0.86	4 à 5 atmosphères.
<i>Id.</i>	6.25	1.00	1 atmosphère.
<i>Id.</i>	7.00	1.12	Évaporat. à basse temp.
Houille très-cassante, en petits morceaux.	4.50	0.72	Haute pression.
<i>Id.</i>	5.00	0.80	Basse pression.
Coke fabriqué au four (1 ^{re} qualité).	4.65	0.74	Haute pres. (chaud. ord.).
<i>Id.</i>	5.80	0.92	Locomotives.
Bois de sapin et hêtre, de 13 mois.	2.70	0.43	Basse pression.
Bois de chêne	2.50	0.40	<i>Id.</i>
Charbon de bois.	6.00	0.96	<i>Id.</i>
Lignite.	3.50	0.56	<i>Id.</i>
Tourbe (1 ^{re} qualité).	2.70	0.43	<i>Id.</i>
<i>Id.</i> compacte comprimée	4.00	0.64	<i>Id.</i>
Tannée séchée.	2.00	0.32	<i>Id.</i>

236. *Chaudières à vapeur placées sur des fours à pudler, à réchauffer et à affiner.* Un four à pudler consomme moyennement 85 kilog. de houille à l'heure, et un four à réchauffer de 100 à 110 kilog. La section de la cheminée de ces fours est ordinairement d'un décimètre carré pour une consommation de 4^k à 4^k,5 de houille à l'heure (224), et la section de la grille de 4 décimètres carrés pour la même consommation (230).

Quand un four à pudler ou à réchauffer est muni d'une chaudière à vapeur, il faut, d'après M. Grouvelle, que la section de la cheminée et des carneaux soit d'un décimètre carré pour une consommation de 3^k à 3^k,30 de houille à l'heure. Des expériences faites par M. Lucas Championnière tendent à prouver qu'il y aurait utilité à augmenter un peu cette section : ainsi elles ont fait voir qu'au-dessus de 3 kil. par décimètre carré, le tirage et le travail souffraient toujours; aussi a-t-on porté la section à un décimètre carré pour 2^k.7 de houille.

La hauteur de la cheminée varie de 12 à 13 mètres.

Pour les fours à réchauffer, il convient également d'adopter les proportions précédentes, en ayant égard à la plus grande consommation de charbon.

La surface de chauffe peut être la même que si le charbon était brûlé directement sous la chaudière. Il résulte aussi, d'après M. Grouvelle, que la production des chaudières placées à la suite des fours à réchauffer, est de 4 à 5 kilog. de vapeur à 5 atmosphères, par kil. de houille brûlé; et que celle des chaudières placées à la suite des fours à pudler, est de 3^k à 3^k,5 seulement; mais, d'après d'autres renseignements, dit M. Pécelet, il paraît que ces dernières produisent de 4 à 5 kilog. de vapeur par kilogramme de houille, et que chaque mètre carré de surface de chauffe produit de 16 à 18 kilog. de vapeur à l'heure.

On peut compter, ajoute M. Grouvelle, que la puissance d'une chaudière placée à la suite d'un four à pudler est de 16 à 18 chevaux, et que pour celle placée à la suite d'un four à réchauffer elle est de 25 à 30 chevaux. Cet auteur admet de plus, que deux fours à réchauffer, travaillant en échantillons différents, donnent de la vapeur en quantité largement suffisante pour leur travail au laminoir; et que le four à pudler suffit également au travail du cinglage au marteau et au laminoir.

D'après MM. Thomas et Laurens, sur un feu d'affinerie marchant au charbon de bois, et produisant de 22 à 24 mille kilog. de fer par mois, on peut placer une chaudière à vapeur ayant 16 mètres carrés de surface de chauffe, et produire de 150 à 180 kilog. de vapeur à l'heure, même en plaçant entre le four à affiner et la chaudière un petit four destiné à commencer le chauffage de la fonte à affiner ou à réchauffer le fer à étirer.

237. *Chaudières chauffées par les gaz des hauts fourneaux.* L'expérience prouve qu'en utilisant convenablement la chaleur perdue dans un haut-fourneau au bois, elle est plus que suffisante pour chauffer l'air d'injection à 300° et produire la vapeur nécessaire pour faire fonctionner la machine soufflante.

La composition des gaz sortant d'un haut-fourneau au charbon de bois est, d'après M. Buntén, de 2,32 d'hydrogène, 0.66 d'hydrogène protocarboné, 32,59 d'oxyde de carbone, 3,49 d'acide car-

bonique et 60,94 d'azote; en supposant que les gaz combustibles ne soient composés que d'oxyde de carbone, leur combustion complète développerait une quantité de chaleur égale aux 0,80 de celle qui correspond au combustible introduit dans le haut-fourneau.

D'après MM. Thomas et Laurens, une machine à vapeur à détente et à condensation, de la force de 18 chevaux, dont la chaudière était chauffée par les gaz d'un haut-fourneau au bois, a donné de bons résultats, la section de la cheminée et des carneaux étant de 28 décimètres carrés; la hauteur de la cheminée, 8 mètres; et la surface de chauffe calculée sur une production de 15 à 17 kilog. de vapeur à l'heure.

La combustion des gaz sortant d'un haut-fourneau au coke peut facilement produire la vapeur nécessaire à la machine soufflante.

238. *Épaisseur théorique des chaudières à vapeur.* L'effort qui tend à rompre une chaudière à vapeur suivant une génératrice, par millimètre de longueur, est exprimé par $\frac{pD}{2}$, et on a

$$\frac{pD}{2} = eR, \text{ d'où } e = \frac{pD}{2R}.$$

- p pression de la vapeur en kilog., sur un millimètre carré de surface de chaudière (p est la différence des pressions à l'intérieur et à l'extérieur de la chaudière);
 D diamètre de la chaudière en millimètres;
 e épaisseur de la chaudière en millimètres;
 R résistance à la traction, du métal qui compose la chaudière, par millimètre carré de section (159).

Cette formule est la même que celle posée au n° 127, pour les tuyaux de conduite des eaux; seulement, la hauteur h en mètres d'eau, est exprimée en kilogrammes sur un millimètre carré de surface, ce qui donne $p = \frac{h \times 10}{10000} = \frac{h}{1000}$; le diamètre de la chaudière D est exprimé en millimètres au lieu de l'être en mètres, ce qui donne $D = d \times 1000$.

L'effort qui tend à rompre une chaudière, suivant un grand cercle des demi-sphères qui la terminent, est $\frac{pD}{4}$, et on a

$$\frac{pD}{4} = eR, \text{ d'où } e = \frac{pD}{4R}.$$

239. *Ordonnances des 22 et 23 mai 1843 relatives aux appareils à vapeur.* Il vient de paraître une ordonnance royale relative à la fabrication des chaudières à vapeur et à leur établissement, c'est-à-

dire à leur autorisation, aux épreuves qu'elles doivent subir, à leur épaisseur, à leurs appareils de sûreté (soupapes, manomètres, appareils d'alimentation, indicateurs de niveau), à leur emplacement, et à la surveillance administrative des machines à vapeur. Cette ordonnance comprend en outre les dispositions relatives à l'établissement des machines employées dans l'intérieur des mines, et celles relatives à l'emploi des machines à vapeur locomobiles et locomotives (quatrième partie).

Ce qui va suivre sur les chaudières à vapeur, est extrait en grande partie de ces ordonnances.

240. *Épaisseur pratique à donner aux chaudières à vapeur en tôle et en cuivre.* Cette épaisseur se détermine à l'aide de la formule

$$e = 1,8d(n-1) + 3, \text{ d'où } n = 1 + \frac{e-3}{1,8d}.$$

- e épaisseur de la chaudière en millimètres;
 d diamètre de la chaudière en mètres;
 n tension absolue de la vapeur dans la chaudière, ou n° du timbre; la pression effective en atmosphères est $n - 1$.

De la formule précédente on conclut les épaisseurs e à donner aux chaudières cylindriques en tôle ou en cuivre laminé, consignées dans le tableau suivant.

DIAMÈTRES des chaudières.	NUMÉROS DES TIMBRES exprimant les tensions absolues de la vapeur dans la chaudière.						
	2 atmosph.	3 atmosph.	4 atmosph.	5 atmosph.	6 atmosph.	7 atmosph.	8 atmosph.
met. 0.50	millim. 3.90	millim. 4.80	millim. 5.70	millim. 6.60	millim. 7.50	millim. 8.40	millim. 9.30
0.55	3.99	4.98	5.97	6.96	7.95	8.94	9.93
0.60	4.08	5.16	6.24	7.32	8.40	9.48	10.56
0.65	4.17	5.34	6.51	7.68	8.85	10.02	11.19
0.70	4.26	5.52	6.78	8.04	9.30	10.56	11.82
0.75	4.35	5.70	7.05	8.40	9.75	11.10	12.45
0.80	4.44	5.88	7.32	8.76	10.20	11.64	13.08
0.85	4.53	6.06	7.59	9.12	10.65	12.18	13.71
0.90	4.62	6.24	7.86	9.48	11.10	12.72	14.34
0.95	4.71	6.42	8.13	9.84	11.55	13.26	14.97
1.00	4.80	6.60	8.40	10.20	12.00	13.80	15.60

L'épaisseur de la tôle ou du cuivre laminé ne doit d'ailleurs jamais dépasser 15 millimètres; si, en raison du diamètre projeté de la chaudière et de la tension de la vapeur, une épaisseur plus forte était nécessaire, le fabricant devrait substituer à une chaudière unique plusieurs chaudières séparées, de diamètres plus petits.

Lorsqu'une partie de la chaudière est plane, l'épaisseur de cette partie doit être augmentée.

L'ordonnance n'assigne pas de règle pour l'épaisseur des chaudières en fonte, mais, d'après l'instruction annexée à l'ordonnance (239), on doit considérer comme suspecte, toute chaudière en fonte de forme cylindrique, dont l'épaisseur ne serait pas égale à 5 fois l'épaisseur prescrite pour la même chaudière en tôle ou en cuivre laminé.

Comme dans le commerce on ne trouve pas de tôles de toutes les épaisseurs, les constructeurs de chaudières ne font usage que de tôles d'un certain nombre d'épaisseurs, mais toujours supérieures à celles que prescrit l'ordonnance. M. Pécelet rapporte, dans son *Traité de la chaleur*, les proportions de chaudières du tableau suivant, usitées dans un des principaux établissements de chaudronnerie de Paris, pour une pression de 5 atmosphères.

NOMBRE de chevaux.	LONGUEUR de la chaudière.	LONGUEUR de chacun des deux bouilleurs.	DIAMÈTRE de la chaudière.	DIAMÈTRE des bouilleurs.	ÉPAISSEUR de la tête de la chaudière.	ÉPAISSEUR de la tête des bouilleurs.
	m.	m.	m.	m.	millimèt.	millimèt.
2	1.65	1.75	0.66	0.28	8	8
4	2.10	2.20	0.70	0.30	8	8
6	2.45	2.60	0.75	0.35	9	10
8	2.80	2.95	0.80	0.35	10	10
10	3.25	3.40	0.80	0.35	10	10
15	5.00	5.15	0.80	0.44	10	10
20	6.80	7.00	0.85	0.50	10	10
25	8.50	8.65	0.85	0.50	10	10
30	9.20	9.50	1.00	0.60	10.5	10
40	10.00	10.38	1.10	0.60	11	10

Sauf les deux premières chaudières de ce tableau, qui ont des surfaces de chauffe trop grandes, les autres ont des surfaces de chauffe de 1^m.70 environ par force de cheval. Supposant que la consommation est de 5 kilog. de houille par force de cheval et par heure, et que chaque kilog. de houille produit 5 kilog. de vapeur, il en résulte que chaque mètre carré de surface de chauffe ne produit que 15 kilog. de vapeur à l'heure.

241. *Épreuves des chaudières à vapeur.* Aucune chaudière à vapeur ne peut être mise en activité dans un établissement quelconque, sans avoir été préalablement essayée, à l'aide d'une pompe foulante à eau, à une pression triple de la pression effective $n - 1$ (n 240) pour les chaudières, tubes bouilleurs et réservoirs en tôle ou en cuivre laminé; et quintuple pour les chaudières ou tubes bouilleurs en fonte.

Les cylindres en fonte des machines à vapeur et les enveloppes en fonte de ces cylindres sont éprouvés à une pression triple de la pression effective.

Aucune machine ou chaudière à vapeur ne peut être livrée par un fabricant, si elle n'a été soumise aux épreuves précédentes; ces épreuves sont faites à la fabrique, sur la déclaration des fabricants et d'après les ordres des préfets, par les ingénieurs des mines, ou, à leur défaut, par les ingénieurs des ponts et chaussées. L'épreuve est recommencée sur l'établissement dans lequel les machines ou chaudières doivent être employées: 1° si le propriétaire la réclame; 2° s'il y a eu, pendant le transport ou lors de la mise en place, des avaries notables; 3° si des modifications ou opérations quelconques ont été faites depuis l'épreuve opérée à la fabrique.

Les chaudières ou machines à vapeur venant de l'étranger doivent être pourvues des mêmes appareils de sûreté que les machines ou chaudières d'origine française, et subir les mêmes épreuves. Ces épreuves sont faites au lieu désigné par le destinataire, dans la déclaration qu'il doit faire à l'importation.

242. *Autorisation pour l'établissement des machines à vapeur et des chaudières à vapeur.* Les machines à vapeur et les chaudières à vapeur, tant à haute pression qu'à basse pression, qui sont employées à demeure partout ailleurs que dans les mines, ne peuvent être établies qu'en vertu d'une autorisation délivrée par le pré-

fet du département, conformément à ce qui est prescrit par le décret du 15 octobre 1810 pour les établissements insalubres et incommodes de 2^e classe. (*Voir* ce décret à la fin de la 2^e partie.)

La demande en autorisation est adressée au préfet. Elle fait connaître :

1^o La pression maximum de la vapeur, exprimée en atmosphères et en fractions décimales d'atmosphère, sous laquelle les machines à vapeur ou les chaudières à vapeur doivent fonctionner ;

2^o La force de ces machines, exprimée en chevaux (19) ;

3^o La forme des chaudières, leur capacité et celle de leurs tubes bouilleurs, exprimées en mètres cubes ;

4^o Le lieu et l'emplacement où elles doivent être établies, et la distance où elles se trouveront des bâtiments appartenant à des tiers et de la voie publique ;

5^o La nature du combustible que l'on emploiera ;

6^o Enfin le genre d'industrie auquel les machines ou les chaudières devront servir.

Un plan des localités et le dessin géométrique de la chaudière sont joints à la demande.

Le préfet renvoie immédiatement la demande en autorisation, avec les plans, au sous-préfet de l'arrondissement, pour être transmise au maire de la commune, qui procède immédiatement à des informations *de commodo et incommodo* ; la durée de cette enquête est de dix jours ; cinq jours après qu'elle est terminée, le maire adresse le procès-verbal de l'enquête, avec son avis, au sous-préfet, lequel, dans un semblable délai, transmet le tout au préfet, en y joignant également son avis. Dans le délai de 15 jours, le préfet, après avoir pris l'avis de l'ingénieur des mines, ou, à son défaut, de l'ingénieur des ponts et chaussées, statue sur la demande en autorisation.

Le recours au conseil d'État est ouvert au demandeur contre la décision du préfet qui aurait refusé d'autoriser l'établissement d'une machine ou d'une chaudière à vapeur.

243. *Soupapes de sûreté.* Il est adapté à la partie supérieure de chaque chaudière deux soupapes de sûreté, une vers chaque extrémité de la chaudière. Chaque soupape est chargée d'un poids unique agissant, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un le-

vier. Chaque poids reçoit l'empreinte d'un poinçon. Dans le cas où il est fait usage de leviers, ils doivent également être poinçonnés. La quotité des poids et la longueur des leviers sont fixés par l'arrêté d'autorisation du préfet.

La charge maximum de chaque soupape de sûreté est déterminée en multipliant 1^k,033 par le nombre d'atmosphères mesurant la pression effective (240), et par le nombre de centimètres carrés mesurant l'orifice de la soupape.

La largeur de la surface annulaire de recouvrement ne doit pas dépasser la trentième partie du diamètre de la surface circulaire exposée directement à la pression de la vapeur, et cette largeur, dans aucun cas, ne doit excéder deux millimètres.

Le diamètre de la partie exposée directement à la vapeur étant, en millimètres,

20 25 30 35 40 45 50 55 60 et au-dessus ;

La largeur maximum en millimètres de la surface annulaire de contact est respectivement

0,67 0,83 1,00 1,17 1,32 1,50 1,67 1,83 2,00

Le diamètre des soupapes de sûreté est donné par la formule

$$d = 2,6 \sqrt{\frac{s}{n - 0,412}}$$

d diamètre de la soupape en centimètres ;

s surface de chauffe de la chaudière, y compris les parties des parois comprises dans les carnaux ou conduits de la flamme et de la fumée, exprimée en mètres carrés ;

n numéro du timbre (240).

De la formule précédente on conclut, pour diamètres des soupapes, les résultats du tableau suivant.

SUIVE DE CHAUFFE des chaudières.	NUMÉROS DES TIMBRES indiquant les tensions absolues de la vapeur dans les chaudières.									
	1 $\frac{1}{2}$	2	2 $\frac{1}{2}$	3	3 $\frac{1}{2}$	4	4 $\frac{1}{2}$	5	5 $\frac{1}{2}$	6
	atmos.	atmos.	atmos.	atmos.	atmos.	atmos.	atmos.	atmos.	atmos.	atmos.
m-car.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.
1	2.493	2.063	1.799	1.616	1.479	1.372	1.286	1.214	1.152	1.100
2	3.525	2.918	2.544	2.286	2.092	1.941	1.818	1.716	1.630	1.555
3	4.317	3.573	3.116	2.799	2.563	2.377	2.227	2.102	1.996	1.905
4	4.985	4.126	3.598	3.232	2.959	2.745	2.572	2.427	2.305	2.200
5	5.574	4.613	4.023	3.614	3.308	3.069	2.875	2.714	2.578	2.459
6	6.106	5.054	4.407	3.958	3.624	3.362	3.149	2.973	2.823	2.694
7	6.595	5.458	4.760	4.276	3.914	3.631	3.402	3.211	3.045	2.910
8	7.050	5.833	5.089	4.571	4.185	3.882	3.637	3.433	3.260	3.111
9	7.478	6.189	5.398	4.848	4.438	4.117	3.857	3.641	3.458	3.299
10	7.882	6.524	5.690	5.110	4.679	4.340	4.066	3.838	3.645	3.478
11	8.267	6.843	5.967	5.360	4.907	4.552	4.265	4.025	3.823	3.648
12	8.635	7.147	6.233	5.598	5.125	4.754	4.454	4.204	3.993	3.810
13	8.987	7.439	6.487	5.827	5.334	4.949	4.636	4.376	4.156	3.965
14	9.325	7.720	6.732	6.047	5.536	5.138	4.811	4.541	4.312	4.124
15	9.654	7.990	6.968	6.259	5.730	5.316	4.980	4.701	4.464	4.259
16	9.970	8.253	7.197	6.464	5.918	5.490	5.143	4.854	4.610	4.399
17	10.277	8.506	7.418	6.663	6.100	5.659	5.302	5.004	4.752	4.534
18	10.575	8.753	7.633	6.841	6.277	5.823	5.455	5.149	4.890	4.666
19	10.865	8.993	7.842	7.044	6.449	5.982	5.605	5.290	5.024	4.794
20	11.147	9.227	8.046	7.227	6.616	6.138	5.750	5.428	5.154	4.918
21	11.423	9.454	8.245	7.380	6.780	6.289	5.892	5.561	5.282	5.040
22	11.691	9.677	8.439	7.580	6.939	6.437	6.031	5.692	5.406	5.158
23	11.954	9.894	8.629	7.750	7.095	6.582	6.167	5.820	5.527	5.274
24	12.211	10.107	8.814	7.917	7.248	6.723	6.299	5.845	5.646	5.388
25	12.463	10.316	8.996	8.080	7.397	6.862	6.429	6.069	5.763	5.499
26	12.710	10.520	9.174	8.240	7.544	7.098	6.556	6.188	5.877	5.608
27	12.952	10.720	9.349	8.397	7.776	7.132	6.681	6.306	5.989	5.715
28	13.190	10.917	9.520	8.551	7.828	7.262	6.804	6.422	6.099	5.819
29	13.423	11.110	9.689	8.703	7.967	7.391	6.924	6.535	6.207	5.922
30	13.653	11.300	9.855	8.851	8.103	7.517	7.043	6.648	6.313	6.024

L'expérience a fait voir qu'une seule soupape, dont l'orifice avait

un diamètre déterminé par la formule empyrique précédente, suffisait pour débiter toute la vapeur qui pourrait se former dans la chaudière, à la tension de n atmosphères, sous l'influence du feu le plus actif. Ainsi, quand une chaudière sera munie de deux soupapes ayant les dimensions prescrites et fonctionnant bien, on n'aura point à craindre que la tension de la vapeur dépasse la limite assignée, sauf peut-être le cas où l'eau, par suite d'un défaut d'alimentation, parviendrait à atteindre des parois rouges.

La nouvelle ordonnance (239) dispense de munir les chaudières à vapeur de plaques fusibles, ce qui était exigé avant sa promulgation.

244. *Manomètres.* Toute chaudière à vapeur doit être munie d'un manomètre à mercure, gradué en atmosphères et en fractions décimales d'atmosphères, de manière à faire connaître immédiatement la tension de la vapeur dans la chaudière. Le tuyau qui amène la vapeur au manomètre est adapté directement sur la chaudière, et non sur le tuyau de prise de vapeur ou sur tout autre tuyau dans lequel la vapeur est en mouvement.

Le manomètre doit être placé en vue du chauffeur.

Le manomètre doit être à air libre, c'est-à-dire, ouvert par le haut, toutes les fois que la pression effective (240) ne dépasse pas 4 atmosphères.

Pour les chaudières de la 4^e catégorie (246), le manomètre est toujours à air libre.

Une ligne, tracée d'une manière apparente sur l'échelle de chaque manomètre, indique le niveau que le mercure ne doit pas dépasser.

Pour graduer l'échelle d'un manomètre à air libre, il suffit de remarquer que quand la pression dans la chaudière est égale à la pression atmosphérique, le niveau du mercure est le même dans la cuvette du manomètre que dans le tube, et qu'à ce niveau il faut marquer une atmosphère; et qu'à chaque augmentation de $\frac{1}{10}$ d'atmosphère, le niveau du mercure s'élève sensiblement de $0^m,076$ dans le tube (cela suppose la section de la cuvette assez grande pour pouvoir y négliger l'abaissement de niveau du mercure). Souvent le manomètre est composé de deux branches, ce qui permet de supprimer la cuvette; alors le mercure ne s'élève plus dans la

branche indicatrice, que de la moitié de ce qui avait lieu dans le cas précédent, c'est-à-dire de $0^m,038$ par dixième d'atmosphère, si les deux branches ont le même diamètre. Si les deux branches ont des diamètres différents, la quantité dont le mercure s'abaisse dans la branche qui communique avec la chaudière, pendant qu'il s'abaisse d'une quantité h dans la branche indicatrice, est $h \frac{D^2}{d^2}$, et l'augmentation de pression de la vapeur est

$$h + h \frac{D^2}{d^2} = h \frac{d^2 + D^2}{d^2}.$$

D diamètre de la branche indicatrice ;
d diamètre de la branche qui communique avec la chaudière.

Supposant que cette augmentation de pression soit égale à un dixième d'atmosphère, on aura

$$h \frac{d^2 + D^2}{d^2} = 0^m,076, \text{ d'où } h = 0^m,076 \frac{d^2}{d^2 + D^2}.$$

Il faut encore tenir compte de l'eau qui se condense dans la branche qui communique avec la chaudière; cette eau remplace le mercure à mesure qu'il descend, et s'ajoute à la pression de la vapeur pour faire élever le mercure dans la branche indicatrice, de sorte que, pour l'élévation h , la pression de la vapeur n'est que de

$$h + h \frac{D^2}{d^2} - h \frac{D^2}{d^2} \times \frac{1}{13,598} = h \frac{27d^2 + 25D^2}{27d^2}.$$

13,598 densité du mercure, la formule suppose le double de cette densité égal à 27.

Pour une augmentation de pression d'un dixième d'atmosphère, on a

$$h \frac{27d^2 + 25D^2}{27d^2} = 0^m,076, \text{ d'où } h = 0^m,076 \frac{27d^2}{27d^2 + 25D^2}.$$

Il est donc encore facile de graduer exactement le manomètre, dans le cas où la branche qui communique avec la chaudière est constamment pleine d'eau. Comme il est très-difficile d'obtenir des tubes très-réguliers sur une longueur aussi grande que l'exige un manomètre à air libre indiquant de 4 à 5 atmosphères de pression,

il convient de les graduer au moyen d'une pompe portant un manomètre étalon.

Lorsque les tubes sont en verre, on voit le niveau du mercure dans toutes ses positions; mais lorsqu'il est en fer, on est obligé de l'indiquer au moyen d'un flotteur équilibré par un contre-poids, à l'aide d'un fil très-flexible passant sur une petite poulie très-mobile; et, afin de diminuer la course de ce flotteur et par suite de l'aiguille indicatrice fixée au contre-poids, on fait D plus grand que d.

Pour graduer l'échelle d'un manomètre à air comprimé, on se sert de la formule

$$P = 2h + 0,76 \frac{H}{H-h},$$

d'où

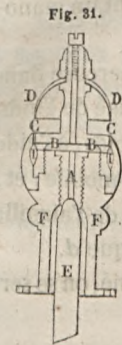
$$h = \frac{P}{4} + \frac{H}{2} - \sqrt{\frac{\left(\frac{P}{2} + H\right)^2}{4} - H \left(\frac{P}{2} - \frac{0,76}{2}\right)}.$$

P pression absolue de la vapeur, en hauteur de mercure ;
H longueur de tube occupée par l'air sous la pression atmosphérique $0^m,76$;
h quantité dont H s'est comprimée; c'est la moitié de la différence de niveau du mercure dans les deux branches qu'on suppose avoir même diamètre.

Donnant à P différentes valeurs, on en conclura les valeurs correspondantes de h . Pour $P = 5$ atmos. = $3^m,80$ de mercure, on conclut de la dernière formule, en supposant $H = 0^m,60$, $h = 0^m,443$. Comme vérification, en substituant cette valeur de h dans la première formule, on en conclurait bien $P = 3^m,80$.

245. *Alimentation des chaudières à vapeur; indicateurs du niveau de l'eau dans ces chaudières.* Toute chaudière à vapeur doit être munie d'une pompe d'alimentation bien construite et en bon état d'entretien, ou de tout autre appareil alimentaire d'un effet certain.

Le niveau que l'eau doit avoir habituellement dans chaque chaudière, est indiqué à l'extérieur par une ligne tracée d'une manière apparente sur le corps de la chaudière ou sur le parement du fourneau. Cette ligne, que nous appellerons *ligne de niveau d'eau*, est d'un décimètre au moins au-dessus de la partie la plus élevée des carneaux, tubes ou conduits de la flamme et de la fumée dans le fourneau.



Chaque chaudière est pourvue d'un sifflet d'alarme (fig. 31) qui se fixe à la chaudière à l'aide d'une bride que porte le manchon FF. La tige E descend dans la chaudière et porte un flotteur. Quand le niveau de l'eau baisse de 0^m,05 au-dessous de la ligne de niveau d'eau, la tige E descend et permet à la vapeur de passer par le canal A; la vapeur du canal A se rend, par les trous BB, dans le canal annulaire H, d'où elle sort par la fente circulaire très-étroite CC pour frapper les bords du timbre ou cloche renversée DD, et produire un sifflement très-

aigu. Le flotteur et la tige E sont équilibrés par un contre-poids, qui est ordinairement une pierre de liais du poids de 23 kilog. environ; ce contre-poids ainsi que son levier, qui repose sur des couteaux, sont placés dans la chaudière.

Outre le flotteur d'alarme, la chaudière est munie de l'un des trois appareils suivants: 1° Un flotteur ordinaire d'une mobilité suffisante; 2° Un tube indicateur en verre; 3° Des robinets indicateurs convenablement placés à des niveaux différents. Ces appareils indicateurs doivent, dans tous les cas, être placés en vue du chauffeur.

Si plusieurs chaudières sont destinées à fonctionner ensemble, elles doivent être disposées de manière à pouvoir, au besoin, être rendues indépendantes les unes des autres. En conséquence, chaque chaudière doit être alimentée séparément, et être munie de tous les appareils de sûreté.

246. *Division des chaudières à vapeur en quatre catégories; emplacement des chaudières à vapeur.* Expriment en mètres cubes la capacité de la chaudière avec ses tubes bouilleurs, et en atmosphères la tension absolue de la vapeur dans la chaudière (240), et faisant le produit des deux nombres; les chaudières sont dites de la première catégorie, si le produit est plus grand que 15; elles sont de la deuxième catégorie, si le produit surpasse 7 et n'excède pas 15; de la troisième, s'il est supérieur à 3 sans excéder 7; et enfin de la quatrième, s'il n'excède pas 3.

Si plusieurs chaudières doivent fonctionner ensemble dans un même emplacement, et s'il existe entre elles une communication

quelconque, directe ou indirecte, on prend pour déterminer l'ordre de la catégorie, la somme des capacités de ces chaudières, y compris celle de leurs tubes bouilleurs.

Les chaudières à vapeur comprises dans la première catégorie doivent être établies en dehors de toute maison d'habitation et de tout atelier. Néanmoins, pour laisser la faculté d'employer au chauffage des chaudières, une chaleur qui autrement serait perdue, le préfet peut autoriser l'établissement des chaudières de la première catégorie dans l'intérieur d'un atelier qui ne fait pas partie d'une maison d'habitation. L'autorisation est portée à la connaissance de notre ministre des travaux publics.

Toutes les fois qu'il y a moins de 10 mètres de distance entre une chaudière de la première catégorie et les maisons d'habitation ou la voie publique, il est construit, en bonne et solide maçonnerie, un mur de défense de 1 mètre d'épaisseur. Ce mur de défense est, dans tous les cas, distinct du massif des fourneaux, et en est séparé par un espace libre de 50 centimètres de largeur au moins. Il doit également être séparé des murs mitoyens avec les maisons voisines.

Si la chaudière est enfoncée dans le sol, et établie de manière que sa partie supérieure soit à un mètre au moins en contre-bas du sol, le mur de défense n'est exigible que lorsqu'elle se trouve à moins de 5 mètres des maisons habitées ou de la voie publique.

Lorsqu'une chaudière de la première catégorie est établie dans un local fermé, ce local ne doit point être voûté; mais il doit être couvert d'une toiture légère n'ayant aucune liaison avec les toits des ateliers ou autres bâtiments contigus, et reposant sur une charpente particulière.

Les chaudières à vapeur comprises dans la deuxième catégorie peuvent être placées dans l'intérieur d'un atelier, si toutefois cet atelier ne fait pas partie d'une maison d'habitation ou d'une fabrique à plusieurs étages. Si les chaudières de cette catégorie sont à moins de 5 mètres de distance, soit des maisons d'habitation, soit de la voie publique, il est construit de ce côté le mur de défense dont il vient d'être question pour les chaudières de la première catégorie.

A l'égard des terrains contigus non bâtis appartenant à des tiers, si, après l'autorisation donnée par le préfet pour l'établissement de chaudières de la première ou de la seconde catégorie, les propriétaires de ces terrains font bâtir dans les distances citées plus haut, ou si ces terrains viennent à être consacrés à la voie publique, la construction de murs de défense, tels qu'ils sont prescrits ci-dessus peut, sur la demande des propriétaires desdits terrains, être imposée au propriétaire de la chaudière, par arrêté du préfet, sauf recours devant notre ministre des travaux publics.

L'autorisation donnée par le préfet pour les chaudières de la première et de la deuxième catégorie, indique l'emplacement de la chaudière et la distance à laquelle elle doit être placée par rapport aux habitations appartenant à des tiers et à la voie publique, et fixe, s'il y a lieu, la direction de l'axe des chaudières. Cette autorisation détermine la situation et les dimensions en hauteur et en largeur du mur de défense de un mètre, lorsqu'il est nécessaire de l'établir. Dans la fixation de ces dimensions, on a égard à la capacité de la chaudière, au degré de tension de la vapeur, et à toutes les autres circonstances qui peuvent rendre l'établissement de la chaudière plus ou moins dangereux ou incommode.

Les chaudières de la troisième catégorie peuvent être placées dans l'intérieur d'un atelier ne faisant pas partie d'une maison, sans que le mur de défense soit exigé.

Les chaudières de la quatrième catégorie peuvent être placées dans l'intérieur d'un atelier quelconque, lors même que cet atelier fait partie d'une maison d'habitation. Dans tous les cas, les chaudières sont munies d'un manomètre à air libre (244).

Les fourneaux des chaudières à vapeur comprises dans la troisième et dans la quatrième catégorie sont entièrement séparés, par un espace vide de 50 centimètres au moins, des maisons d'habitation appartenant à des tiers.

Lorsque les chaudières établies dans l'intérieur d'un atelier ou d'une maison d'habitation sont couvertes sur le dôme et sur les flancs, d'une enveloppe destinée à prévenir les déperditions de chaleur, cette enveloppe est construite en matériaux légers; si elle est en briques, son épaisseur ne doit pas dépasser un décimètre.

247. *Machines à vapeur employées dans l'intérieur des mines.* Les machines à vapeur employées à demeure dans l'intérieur des mines sont pourvues des appareils de sûreté prescrits dans les numéros précédents pour les machines fixes, et doivent subir les mêmes épreuves. Elles ne peuvent être établies qu'en vertu d'autorisations des préfets, délivrées sur le rapport des ingénieurs des mines. Ces autorisations déterminent les conditions relatives à l'emplacement, à la disposition et au service habituel des machines.

Les attributions données aux préfets des départements par les ordonnances des 22 et 23 mai (239), sont exercées par le préfet de police dans toute l'étendue du département de la Seine, et dans les communes de Saint-Cloud, Meudon et Sèvres, du département de Seine-et-Oise.

DISTILLATION.

248. La distillation a pour but de séparer une substance volatile d'une ou de plusieurs autres substances fixes ou volatiles, mais à des températures différentes.

Pour ce mode de vaporisation, les dimensions des chaudières dépendent de la quantité de vapeur à former dans un temps donné, de la température d'ébullition du liquide (199), de sa chaleur latente de vaporisation (198) et de sa capacité calorifique ainsi que de celle du résidu (196). De ces divers éléments on déduit aussi la quantité de combustible à brûler (211), et par suite la surface de la grille (230) et la section de la cheminée (224).

Les surfaces de chauffe nécessaires pour vaporiser, dans un même temps, un même poids d'un liquide quelconque et d'eau, sont dans le rapport des quantités de chaleur absorbées pour échauffer et vaporiser les deux liquides. Quand il y a plusieurs liquides à vaporiser à la fois, ce qui a lieu généralement, la quantité totale de charbon à brûler est égale à celle nécessaire pour vaporiser tous les liquides séparément, et amener le résidu à la température d'ébullition; la surface de chauffe est aussi égale à la surface que nécessiterait la vaporisation de tous les liquides en particulier et l'échauffement du résidu.

1^{er} *exemple.* Soit à vaporiser, en une heure, 150 kilogrammes d'alcool pur à la température primitive de 0°.

La température d'ébullition de l'alcool sous la pression atmosphérique 0^m,76 étant 78°,40, sa capacité calorifique, 0,622, et sa chaleur latente de vaporisation, 207, la quantité de chaleur nécessaire pour en vaporiser un kilogramme est

$$78,40 \times 0,622 + 207 = 256 \text{ unités,}$$

C'est-à-dire, à peu près les $\frac{4}{10}$ de celle nécessaire pour vaporiser un kilog. d'eau préalablement à 0° (198).

Un kilog. de houille vaporisant 6 kilog. d'eau, vaporisera donc $6 \times \frac{10}{4} = 15$ kilog. d'alcool.

Un mètre carré de surface de chauffe vaporisant de 15 à 20 kilog. d'eau, vaporisera donc de $15 \times \frac{10}{4} = 38$, à $20 \times \frac{10}{4} = 50$ kilg. d'alcool. En supposant seulement 38 kil., les 150 kil. d'alcool à 0°, exigent $\frac{150}{38} = 4^{\text{mc}},95$ de surface de chauffe, et la quantité de houille brûlée sera $\frac{150}{15} = 10$ kilog.

2° *exemple.* Soit à distiller en une heure 500 litres d'un vin dans lequel les quantités d'alcool et d'eau sont dans le rapport de 1 à 22,8.

L'expérience prouve que pour obtenir presque tout l'alcool, il faut vaporiser les 0,22 de la masse totale, ce qui donne 110 litres d'une liqueur composée de 21 litres d'alcool et de 89 litres d'eau.

La quantité de houille à brûler est alors :

Pour vaporiser les 0,792 × 21 = 16,63 kilog. d'alcool (28)	$\frac{16,63}{15} = 1^{\text{k}},11$
Pour vaporiser les 89 kilog. d'eau	$\frac{89}{6} = 14,83$
Pour élever à 100° les 390 kil. de résidu.	$\frac{100 \times 390}{650 \times 6} = 10,00$
Total.	<u>25,94</u>

25^k,94 de houille pouvant vaporiser 25^k,94 × 6 = 155^k,64 d'eau,

la surface de chauffe nécessaire pour distiller les 500 litres de vin sera donc de $\frac{155,64}{15} = 10^{\text{mc}},38$.

L'eau-de-vie qui sert de boisson contient généralement de 50 à 60 pour cent en volume d'alcool pur, à la température de 15°; ce que dans le commerce on appelle *esprit* en contient de 70 à 80 pour cent, à la même température. Les vins du Midi donnent plus d'eau-de-vie que ceux du Nord; on en retire jusqu'à $\frac{1}{3}$ des premiers, moyennement $\frac{1}{4}$, au lieu que ceux du centre n'en donnent que $\frac{1}{5}$, et ceux du Nord seulement de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{10}$.

Lorsqu'on distille une matière quelconque, on dépense une certaine quantité de chaleur pour l'amener à la température d'ébullition; dans un grand nombre de cas, on peut obtenir cette élévation de température au moyen de la chaleur provenant de la condensation des vapeurs, ce qui constitue une véritable économie de combustible.

249. *Condensation des vapeurs.* On peut admettre: 1° que pour une même vapeur, la quantité condensée par une même surface est proportionnelle à la différence entre la température de la vapeur et celle de l'air ou de l'eau qui sert de réfrigérant; 2° que pour des vapeurs différentes, les quantités condensées, par une même surface et pour un même excès de température, sont en raison inverse des quantités de chaleur contenues dans un même poids des vapeurs (198).

TABLEAU de la quantité de vapeur d'eau condensée en une heure par un mètre carré de surface de quelques matières en contact avec l'air à 15°, ou avec l'eau à 20 ou 25°.

NATURE DES SURFACES.	VAPEUR D'EAU CONDENSÉE PAR	
	l'air à 15°.	l'eau à 20 ou 25°.
	k.	k.
Fonte de 5 à 6 millimètres d'épaisseur	1.80	"
Cuivre de 2 à 3 millimètres d'épaisseur	1.40	1.07
Fer-blanc.	1.07	"
Tôle.	1.82	"
Verre.	1.76	"

A l'aide de ce tableau, et en appliquant les deux lois qui le précèdent, on déterminera facilement la quantité d'une vapeur quelconque ou d'un mélange de plusieurs vapeurs, qui sera condensée par les surfaces du tableau, pour un excès de température donné.

ÉVAPORATION.

250. *Évaporation spontanée à l'air libre.* Cette évaporation, que l'on n'emploie guère que dans l'extraction du sel marin, est d'autant plus active : 1° que la surface des liquides est plus grande ; 2° que la température du liquide à évaporer et de l'air environnant ou de l'un de ces deux corps seulement est plus grande ; 3° que l'air est plus sec et plus rapidement renouvelé.

D'après M. Payen, dans les marais salants, en faisant usage de ce mode d'évaporation, l'extraction de 1000 kilog. de sel coûte de 6 à 25 fr. suivant les localités et les états de l'atmosphère. En évaporant l'eau à l'aide de la houille, comme l'eau de la mer contient à peu près 0,025 de sel marin, pour obtenir 1000 kilog. de sel, il faudrait évaporer $\frac{1000}{0,025} \times 0,975 = 39000$ kilog. d'eau qui exigeraient $\frac{39000}{5} = 7800$ kil. de houille ; supposant que l'hectolitre de houille de 80 kilog. coûte 3 fr. seulement, le combustible brûlé pour obtenir 1000 kilog. de sel coûterait déjà 292 fr. 50 cent.

251. *Évaporation par courant d'air forcé.* Ce genre d'évaporation ne s'emploie guère que pour la concentration des jus de fruits. Mongolfier en a fait usage le premier pour concentrer des marcs de raisin avant leur fermentation tout en leur conservant leurs principes fermentescibles ; il résulte de ses observations, qu'en automne un mètre cube d'air dissout moyennement 3 grammes d'eau. Un homme, par un travail effectif journalier de 6 heures, pouvant, à l'aide d'une machine, imprimer une vitesse de 5 mètres par seconde à environ 70000 mètres cubes d'air, la quantité d'eau qu'il évaporerait en un jour sera donc de $70000 \times 0,003 = 210$ kil. En diminuant de moitié la vitesse imprimée à l'air on pourrait quadrupler la quantité d'air mise en mouvement et par là diminuer considérablement le prix de revient de ce mode d'évaporation.

252. *Évaporation à l'air libre et à l'aide d'un foyer.* Quelle que soit la température à laquelle un liquide se vaporise, on admet ordinairement que la quantité de chaleur absorbée par sa vaporisation est la même qu'à sa température d'ébullition ; mais, comme le remarque M. Pécelet, la quantité de chaleur absorbée augmente rapidement à mesure que la température diminue ; et cela, à cause de l'échauffement de l'air qui dissout la vapeur, et du rayonnement.

TABLEAU de la quantité de chaleur contenue dans un mètre cube d'air saturé à différentes températures et sous la pression 0^m.76.

TEMPÉRATURE de l'air saturé.	TENSION de la vapeur (202).	TENSION de l'air (204).	POIDS de la vapeur (203).	POIDS de l'air (27 et 194).	CHALEUR de la vapeur (198).	CHALEUR de l'air (195).	CHALEUR totale.
20°	m. 0.017	m. 0.743	k. 0.016	k. 1.18	unités. 10	unités. 6.0	unités. 16.0
30	0.030	0.730	0.028	1.13	18	8.4	26.4
40	0.053	0.707	0.046	1.05	30	10.5	40.5
50	0.088	0.672	0.072	0.96	47	12.0	59.0
60	0.144	0.616	0.106	0.86	69	12.9	81.9
70	0.229	0.531	0.142	0.72	92	12.6	104.6
80	0.352	0.408	0.199	0.53	129	10.6	139.6
90	0.525	0.235	0.251	0.30	163	6.75	169.75

En admettant que la vapeur ne se dégage dans l'air que quand celui-ci s'en est saturé à la température du liquide ou de la vapeur, on déterminera facilement au moyen du tableau précédent les quantités de chaleur absorbées par la vaporisation d'un kilog. d'eau à différentes températures, y compris l'échauffement de l'air. La deuxième colonne du tableau suivant, extrait du *Traité de la chaleur* de M. Pécelet, donne ces quantités de chaleur ; la troisième colonne, les pertes dues au rayonnement, aussi pour un kilog. d'eau vaporisé ; et la quatrième, les quantités totales de chaleur absorbées.

TEMPÉRATURES.	UNITÉS.	UNITÉS.	UNITÉS.
20	1000	381	1381
30	942	331	1273
40	880	252	1132
50	819	185	1004
60	772	139	911
70	736	102	838
80	701	75	776
90	676	56	732

TABLEAU de la quantité totale de chaleur moyennement absorbée par l'évaporation d'un kilogramme d'eau à différentes températures, y compris le rayonnement et l'échauffement de l'air, d'après les expériences de M. Péclot.

TEMPÉRATURE.	CHALEUR ABSORBÉE.
de 58°.25 à 55°.25	unités. 724
de 55°.25 à 52	780
de 52 à 48.50	837
de 48.50 à 44.75	893
de 44.75 à 40.75	949
de 40.75 à 36.25	1063
de 36.25 à 31.25	1176

TABLEAU des poids de vapeur formés en une heure par un mètre carré de surface d'eau à différentes températures, dans un air calme.

TEMPÉRATURE.	POIDS D'EAU VAPORISÉ.	TEMPÉRATURE.	POIDS D'EAU VAPORISÉ.
	k.		'k.
20°	0.32	60°	2.71
30	0.57	70	4.32
40	1.00	80	6.64
50	1.70	90	10.00

Dans les énormes chaudières employées aux salines de Dieuze, suivant que le liquide est en ébullition ou non, la houille brûlée pour obtenir 100 kilog. de sel, est de 36 à 38 kilog. ou de 42 à 44 kilog. Les surfaces de grille et de chauffe sont à peu près le double de ce qu'elles seraient dans une chaudière à vapeur ordinaire pour une même consommation de combustible (230 et 234). La cheminée a une section supérieure à celle que donnerait la formule (c) (224) en négligeant la résistance, qui est très-faible, de la fumée avant son entrée dans la cheminée; elle a 18 mètres de hauteur, sur un mètre de côté en bas et 0^m,60 en haut; elle est commune à quatre foyers qui consomment chacun 52 kil. de houille à l'heure; la température de la fumée y est de 100°. Chaque kilog. de houille vaporise 7^k,50 d'eau.

253. *Évaporation des liquides chauffés par la vapeur.* Lorsqu'on évapore un liquide dans un appareil à double fond dans lequel on fait arriver de la vapeur d'eau, on peut admettre que chaque mètre carré de surface peut condenser 3 kilog. de vapeur à l'heure, pour une différence de température de un degré; et que pour les appareils en serpentin, cette condensation s'élève à 8 kilog., si le diamètre du serpentin est de 25 à 35 millimètres pour un développement qui ne dépasse pas 20 à 30 mètres.

Exemple. Soit à concentrer en une heure 5000 kilog. de clairece, c'est-à-dire de sirop avant la cuisson. Ce sirop, composé ordinairement de 30 parties d'eau pour 70 parties de sucre, pour être amené à 47° de l'aréomètre, degré ordinaire de concentration, perd à peu près 15 pour cent d'eau, ce qui fait 750 kilog. pour 5000 kilogr. de sirop. La température d'ébullition de la clairece étant 110° et sa chaleur spécifique moitié de celle de l'eau, la quantité de chaleur nécessaire pour en élever 5000 kilog. de 20° à

110°, est $\frac{5000 \times 90}{2} = 225000$ unités, ce qui correspond à la chaleur dégagée par la condensation de $\frac{225000}{550} = 409^k,1$ de vapeur d'eau (198). La quantité totale de vapeur à fournir pour élever la température de la clairece de 20° à 110°, et lui faire perdre 15 pour cent d'eau, est donc $750 + 409,1 = 1159,1$ kilog.

Supposons maintenant que la vapeur soit à la température de

142,70, ce qui correspond à 3,75 atmosphères de pression (202); pendant que la clairce s'échauffe, l'excès moyen de la température moyenne de la vapeur et de l'eau de condensation, sur la température moyenne de la clairce, est

$$\frac{142,70 + 20 + 142,70 + 110}{4} - \frac{110 + 20}{2} = 38,85;$$

pendant l'évaporation, la différence des températures de la vapeur et du liquide étant à peu près 27°, la durée totale de l'évaporation est la même que s'il s'agissait de condenser $750 + \frac{27}{38,85} 409,1 = 1034$ kilog. de vapeur avec une différence de températures de 27°. En supposant que l'on condense dans des serpentins, la surface de chauffe sera donc $\frac{1034}{27 \times 8} = 4^{\text{m}},79$, surface qui exige 2 serpentins.

SÉCHAGE.

254. *Séchage à l'air libre.* Les dispositions à adopter pour les bâtiments destinés à ce mode de séchage, usité principalement dans les blanchisseries, consistent : 1° à placer ces bâtiments dans un lieu où rien n'empêche la circulation de l'air ; 2° à leur donner une grande élévation, afin que les matières à sécher se trouvent dans un air plus sec et plus agité ; 3° à laisser une libre circulation à l'air sur toutes les faces du bâtiment. Pour les séchoirs à colle, comme il serait dangereux d'y laisser pénétrer l'air humide, on garnit les ouvertures du bâtiment de jalousies que l'on ferme pendant les temps humides.

255. *Séchage produit par un courant d'air chauffé préalablement.* Tous les problèmes auxquels donne naissance ce mode de séchage, pourront être résolus en suivant la marche que nous allons indiquer dans la solution des deux problèmes suivants, dont l'un est la réciproque de l'autre.

Premier problème. Soit à déterminer la quantité d'eau vaporisée par un kilogramme de houille, l'air saturé sortant du séchoir à 10°, et la température de l'air extérieur supposé sec étant 0°.

A la température de 10° et sous la pression 0^m,76, un mètre cube d'air contient 0^k,0095 de vapeur dont la force élastique est 0^m,0095 de mercure, et dont la formation a absorbé $0,0095 \times 650 = 6,175$

unités de chaleur (205, 202 et 198). Un mètre cube d'air sec à 0° et sous la pression 0^m,76 pèse 1^k,3, à 10° et sous la même pression il pèse $\frac{1,3}{1 + 0,00364 \times 10} = 1,254$ (27 et 194). Le poids de l'air contenu dans un mètre cube d'air saturé à 10° est alors

$$1,254 \frac{0,7505}{0,76} = 1,238. \quad (194 \text{ et } 204).$$

La température de l'air sec à l'entrée du séchoir est

$$10^\circ + \frac{6,175 \times 4}{1,238} = 30^\circ,$$

(4 étant le rapport approché des puissances calorifiques de l'eau et de l'air (196)).

Supposant que un kilogramme de houille produise 6000 unités de chaleur, il pourra élever $\frac{6000 \times 4}{30} = 800$ kil. d'air de 0 à 30°,

dont le volume en air saturé à 10° sera $\frac{800}{1,238} = 646,2$ mètres cubes ; le poids d'eau vaporisée sera donc $646,2 \times 0,0095 = 6^k,139$.

Par des calculs semblables, supposant toujours l'air primitivement sec et à 0°, on trouverait que la quantité d'eau vaporisée par un kilog. de houille croît sensiblement avec la température de l'air saturé, mais que pour un léger accroissement de cette température, celle de l'air à son entrée dans le séchoir, augmente d'une quantité considérable.

Deuxième problème. Soit à évaporer 25 kilog. d'eau en une heure, la température de l'air saturé au sortir du séchoir étant 30° et la température de l'air saturé extérieur étant 15°.

Pour l'établissement des appareils destinés à opérer ce mode de séchage, il faut toujours se placer dans les conditions les plus défavorables d'état hygrométrique et de température de l'air extérieur ; ainsi il convient de supposer cet air entièrement saturé, et à une température supérieure à la température moyenne à laquelle il se trouvera pendant tout le temps que fonctionnera l'appareil. Dans le nord de la France, pour un appareil permanent, il convient de supposer l'air extérieur à 15° et complètement saturé.

A 30° et sous la pression 0^m,76, un mètre cube d'air saturé con-

tient 28,51 grammes d'eau, et à 15° il en contient 12,83 grammes (205); par conséquent, en négligeant la dilatation de l'air en passant de 15° à 30°, chaque mètre cube dissoudra 15,68 grammes d'eau; pour dissoudre les 25 kilog. il faudra donc à peu près

$$\frac{25}{0,01568} = 1594 \text{ mètres cubes d'air; ce volume ramené de } 30^\circ \text{ à}$$

0° devient $\frac{1594}{1+0,00364 \times 30} = 1437$ mètres cubes, dont le poids est $1437 \times 1,3 = 1868$ kilog.

La quantité de chaleur que perd l'air chaud pour dissoudre les 25 kilog. d'eau, est $650 \times 25 = 16250$ unités; sa température à l'entrée du séchoir est donc $30^\circ + \frac{16250 \times 4}{1868} = 64^\circ,8$.

La quantité totale de chaleur dépensée, est

$$\frac{1868(64,8 - 15)}{4} = 23257.$$

Si l'air qui entre dans le séchoir a servi à la combustion, le poids de combustible à brûler s'obtient en divisant 23257 par la puissance calorifique du combustible; si au contraire l'air qui entre dans le séchoir n'a été chauffé qu'indirectement, il y a à peu près 20 pour cent de la chaleur perdue, et le poids de combustible à brûler s'obtient en divisant 23257 par les 0,80 de la puissance calorifique. Ayant la quantité de combustible à brûler, on détermine la surface de la grille (230).

La formule générale (c) (224) peut, dans un grand nombre de cas, servir à calculer la section de la cheminée d'appel: quand, par exemple, la force ascensionnelle de l'air avant d'arriver au séchoir, compense les frottements depuis le foyer jusqu'à la sortie du séchoir; car, alors, la cheminée d'appel ne fait plus qu'évacuer l'air du séchoir, et vaincre les frottements de cet air contre ses parois; cependant il convient d'augmenter la section que donne cette formule. Le plus souvent, on calcule la section de la cheminée d'appel de manière que la vitesse de l'air y soit de 2 mètres.

MM. Lacambre et Persac, dans une touraille continue construite à Louvain, ont établi, pour chauffer l'air, un calorifère dont la surface de chauffe est de 100 mètres carrés; il brûle en 12 heures 400 kilog. de houille, et sèche, par jour, 50 hectolitres de malt

renfermant chacun de 27 à 36 kilog. d'eau, ce qui donne seulement une évaporation de 1^k,7 à 2^k,2 d'eau par kilog. de houille. Ce peu d'effet est dû à ce qu'il est impossible de saturer complètement l'air dans le séchage des matières pulvérulentes.

256. *Séchage par l'air froid préalablement desséché.* Ce mode de dessiccation peut s'appliquer à la colle, qui ne peut supporter, lorsqu'elle est en gelée, qu'une température de 35° environ.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'obtenir 500 kilog. de colle sèche, l'air desséché étant à 10°. La colle en gelée contenant des $\frac{2}{3}$ aux $\frac{5}{3}$ de son poids d'eau, il faudra donc, en adoptant la proportion $\frac{2}{3}$, qui est celle des colles communes, pour obtenir les 500 kilog. de colle sèche, évaporer 1000 kilog. d'eau; or, un mètre cube d'air saturé à 10° contenant 9^s,5 d'eau (205), il faudra donc, pour dissoudre les 1000 kilog. d'eau, faire passer sur la colle $\frac{1000}{0,0095} = 105263$ mètres cubes d'air sec.

Pour faire l'appel de ces 105263 mètres cubes d'air, il faudrait brûler environ 100 kil. de houille, qui coûteraient 5 fr. à Paris; au moyen d'un ventilateur, cet appel pourrait coûter 4 fr.

La perte sur la chaux employée à dessécher l'air, ne peut qu'être faible, si on a soin de ne lui faire absorber que la moitié de son poids d'eau; car à cet état elle est encore propre aux constructions.

257. *Séchage des étoffes par le contact des surfaces métalliques.* Clément, en appliquant une pièce de calicot pesant 2^k,50, et contenant un égal poids d'eau, sur une plaque de cuivre d'une surface égale à la sienne, et chauffée par la vapeur à 100°, a obtenu sa dessiccation en une minute. Dans cette expérience, la quantité d'eau évaporée par mètre carré de surface de cuivre a été de 6^k,94 par heure.

Dans les fabriques, on sèche les étoffes en les faisant passer sur des cylindres en fonte, chauffés intérieurement par la vapeur.

D'après des expériences faites par M. Royer, vingt pièces de calicot sortant de la presse et pesant 150 kilog., ont été séchées en 3 heures $\frac{1}{2}$; leur poids a été réduit à 76 kilog., et les 74 kilog. d'eau ont condensé 102 kilog. de vapeur; de sorte que, en admettant qu'un kilog. de houille produit 5 kilog. de vapeur, la quantité

d'eau vaporisée par kilogramme de houille, a été de $5 \frac{74}{102} = 3,63$.

La machine était à un seul cylindre, l'eau de condensation était bouillante et la pression dans la chaudière était de 1^m,37 de mercure (202).

CHAUFFAGE.

258. *Chauffage des appartements par les cheminées ordinaires.* La quantité de chaleur rayonnée dans l'appartement par un foyer ordinaire de cheminée, est à peu près le 1/4 de la chaleur totale rayonnée par le combustible; ainsi, pour le bois, elle est seulement les 0,07 de la chaleur totale développée par sa combustion (213).

Les combustibles les plus convenables pour ce mode de chauffage, sont la houille et le coke, dont les pouvoirs rayonnants sont très-grands (218 et 219).

On peut admettre que dans une cheminée ordinaire 1 kilog. de bois exige au moins l'appel de 100 mètres cubes d'air (220).

Le diamètre d'une cheminée ordinaire d'appartement varie de 0^m,20 à 0^m,25; rarement il convient de dépasser cette limite, à moins que ce ne soit pour des appartements destinés à recevoir un grand nombre de personnes; car, dans ce cas, afin de faciliter la ventilation, on porte ordinairement la section des cheminées à 25 décimètres carrés.

Dans les cheminées à la Rumfort, l'ouverture inférieure du tuyau à fumée varie de 0^m,04 à 0^m,06 de section. Dans les cheminées à la L'Homond, la distance du tablier au contre-cœur est de 0^m,15, et à une hauteur de 0^m,30, le contre-cœur porte des briques qui ne laissent plus à l'ouverture que 0^m,05 de largeur.

D'après des expériences faites par les membres du comité consultatif, les proportions de charbon nécessaires pour maintenir une même salle à la même température pendant le même temps, sont 100 pour les cheminées ordinaires, 13 pour les poêles métalliques, et de 13 à 16 pour les appareils analogues aux poêles, mais à foyers ouverts.

Dans le choix des différents modes de chauffage, il faut avoir égard, selon les circonstances, non-seulement à la chaleur utilisée, mais aussi à la ventilation produite.

259. *Chauffage par des poêles.* Lorsqu'un tuyau dans lequel circule de la fumée chauffe directement l'air extérieur, on peut admettre que la quantité de chaleur qui passe à travers ses parois est proportionnelle à la différence des températures intérieure et

extérieure; et, des expériences de M. Pécelet, sur les cheminées en tôle, en fonte et en terre, il résulte que 1 mètre carré de surface laisse passer en une heure, pour une différence de température de 1 degré, 3,93 unités de chaleur pour la tôle, 9,9 unités pour la fonte, et 3,85 unités pour la terre cuite de 0^m,01 d'épaisseur.

D'après cela, supposant que dans un poêle ou dans un calorifère la fumée soit abandonnée à 200°, sa température aux environs du foyer étant au moins de 800°, sa température moyenne est de 500° pendant la chauffe, et l'excès de température varie de 400° à 500°; d'où il résulte que, dans ce cas, chaque mètre carré de surface de chauffage laisse passer en une heure, pour un excès moyen de 450°, 1768,5 unités de chaleur pour la tôle, 4455 unités pour la fonte, et 1732,5 unités pour la terre cuite de 0^m,01 d'épaisseur.

Cette énorme différence des quantités de chaleur qui passent à travers la tôle et la fonte n'existe pas dans le chauffage par l'eau ou par la vapeur.

Les résultats précédents peuvent servir à calculer la surface de chauffe d'un poêle ou d'un calorifère, les tuyaux parcourus par la fumée ayant la section minimum de la cheminée (224), et le combustible produisant un effet utile égal aux 0,80 de sa puissance calorifique.

Le diamètre des tuyaux de poêle peut se calculer comme celui des cheminées; mais il vaut mieux généralement s'en tenir aux dimensions adoptées en pratique, et qui varient de 0^m,10 à 0^m,20.

260. *Calorifères à air chaud.* L'air à échauffer doit toujours être pris à l'extérieur, et pour les calorifères placés dans les pièces qu'ils doivent chauffer et ventiler, tels que ceux que l'on emploie depuis quelque temps dans les écoles, il faut compter sur un mètre carré de surface de chauffe par kilogramme de houille ou par 2 kilogrammes de bois brûlés à l'heure, sans compter l'enveloppe extérieure.

Pour les calorifères non placés dans les pièces qu'ils doivent chauffer et ventiler, la quantité maximum de combustible à brûler se détermine en supposant que son effet utile est les 0,80 de sa puissance calorifique (211); la grille, pour une même quantité de combustible brûlée, a la même surface que pour les chaudières à vapeur (230), mais il vaut mieux augmenter cette surface que de la diminuer; la section de la cheminée et des canaux de circulation se calcule

comme pour les chaudières à vapeur (224), en supposant égale à 200° la température de la fumée dans la cheminée ; la surface de chauffe réelle est de 2 mètres carrés par kilog. de houille brûlé par heure.

261. *Chauffage de l'air par la vapeur.* D'après des expériences de Tredgold, les quantités de vapeur condensées en une heure par mètre carré de surface d'un tuyau exposé à l'air libre à 15° sont, pour les tuyaux

de fer-blanc	1 ^k ,07
de verre	1,76
de tôle neuve	1,80
de tôle rouillée.	2,10

D'après Clément, la température de l'air étant 25°, 1 mètre carré de surface condense en une heure les poids de vapeur consignés dans le tableau suivant ; la dernière colonne donne, d'après la loi du n° 232, les poids de vapeur qui seraient condensés si la température de l'air était de 15°.

DÉSIGNATION DES SURFACES.	CONDENSATION, la température de l'air étant de	
	25°.	15°.
Tuyau horizontal en fonte nue	k. 1 60	k. 1.81
<i>Id.</i> <i>id.</i> noircie	1 50	1.70
<i>Id.</i> en cuivre nu	1.30	1.47
<i>Id.</i> en cuivre noirci	1.50	1.70
Tuyau vertical en cuivre noirci	1.75	1.98

Dans les grands chauffages à vapeur, on peut compter sur 1^k,80 de vapeur condensée en une heure, par mètre carré de surface pour la fonte, et sur 1^k,75 pour le cuivre.

D'après M. Grouvelle, un mètre carré de surface de fonte, chauffé par la vapeur ou par une circulation d'eau à 80 ou 90°, entretient à 15° 100 mètres cubes d'atelier (262 et 269).

Le diamètre des tuyaux de condensation varie de 0^m,07 à 0^m,20 ; celui des tuyaux qui leur amènent la vapeur de la chaudière est beaucoup plus petit : en Angleterre on fait ces tuyaux en fer creux et on

leur donne de 3 à 5 centim. de diamètre ; en France, on les fait généralement en cuivre.

Connaissant le volume en mètres cubes d'air froid à chauffer dans un certain temps, en le multipliant par le poids d'un mètre cube (27 et 194), on a le poids total d'air à chauffer ; ce poids, multiplié par la capacité calorifique de l'air (196) et par la différence des températures de l'air chaud et de l'air froid, donne la quantité de chaleur à fournir à l'air ; cette quantité de chaleur divisée par 550, chaleur latente de vaporisation de l'eau (198), donne la quantité de vapeur condensée. On détermine la quantité de charbon à brûler (211), et par suite les dimensions de la grille (230), des conduits de fumée et de la cheminée (224).

262. *Calorifères à eau chaude et à basse pression.* Quoique ce système soit très-peu employé, nous allons cependant calculer les dimensions d'un tel calorifère destiné à émettre 36000 unités de chaleur en une heure ou 10 unités par seconde ; la température de l'eau étant de 80° dans la chaudière et dans la colonne ascensionnelle qui a 2 mètres de hauteur verticale, de 55° en moyenne dans le tuyau de chauffe que l'on suppose avoir une pente uniforme sur tout son circuit et une pente totale de 2 mètres, et enfin de 30° en rentrant dans la chaudière.

Chaque kilog. d'eau perdant 50 unités de chaleur dans sa circulation, le poids d'eau qui doit sortir de la chaudière en une seconde, est $\frac{10}{50} = 0^k,2$, dont le volume moyen dans le tuyau est, en prenant 0,000466 pour coefficient de la dilatation absolue de l'eau pour 1° (192), $0,2(1 + 0,000466 \times 55) = 0,2051$ de litre.

En admettant que la quantité de chaleur que laisse passer la surface de chauffe, à égalité de différences de températures, est à peu près la même que pour la vapeur (261), chaque mètre carré de surface de fonte laisse passer en une heure, pour la différence 40° entre la température 55° de l'eau, et celle 15° de l'air, $1,80 \times 550 \frac{40}{85} = 466$ unités de chaleur ; la surface de chauffe nécessaire pour laisser passer les 36000 unités de chaleur, est donc

$$\frac{36000}{466} = 77,25 \text{ mètres carrés.}$$

Le diamètre d'un tuyau de chauffe étant $0^m,09$, sa circonférence est $0^m,2826$, et par suite sa longueur est $\frac{77,25}{0,2826} = 273$ mètres; prenant 5 mètres pour les parties qui sont en dehors de la pièce à chauffer, et qui comprennent la colonne ascendante et les raccordements du tuyau de chauffe avec cette colonne et la chaudière, on a 278 mètres pour développement total de la circulation.

La vitesse de circulation de l'eau dans les tuyaux est due à la différence des pressions produites par deux colonnes d'eau de 2 mètr. de hauteur verticale, l'une à 55° en moyenne, et l'autre à 80° ; cette différence étant exprimée par une hauteur d'eau à 55° . Or, la première, c'est-à-dire la colonne descendante, presse, par

décimètre carré de section, de $\frac{1}{1+0,000466 \times 55} 20 = 19^k,50$, et la colonne ascendante, de $\frac{1}{1+0,000466 \times 80} 20 = 19^k,28$; par con-

séquent la vitesse de circulation est due à une hauteur d'eau à 55° , correspondant à $0^k,22$; en eau froide, cette colonne serait $0^m,022$; en eau à 55° , elle est $0,022 (1+0,000466 \times 55) = 0^m,02256$, ce qui fait $0^m,0008115$ par mètre courant de tuyau. †

Consultant le tableau n° 117, on voit que sous la charge $0^m,000\ 077\ 21$, le diamètre $0^m,09$ débite $0^l,3181$ par seconde; ce diamètre est donc grandement suffisant pour l'application qui nous occupe. Il n'est cependant pas aussi exagéré qu'il paraît l'être; d'abord à cause des changements de direction des tuyaux, et ensuite parce que la résistance étant proportionnelle au carré de la vitesse, le tableau n° 117 donne, dans ce cas, une résistance ou charge trop faible, en la donnant pour la vitesse moyenne dans la conduite.

Pour chauffer un atelier de 13 mètres de largeur sur $3^m,25$ de hauteur, une seule allée d'un tuyau de $0^m,16$ de diamètre sur toute la longueur de l'atelier paraît suffisante, la température de l'eau étant de 75 à 80° (261).

On suivrait une marche analogue pour chauffer une pièce quelconque à l'aide de l'eau de condensation d'une machine à vapeur; seulement, dans ce cas, on élèverait l'eau mécaniquement.

263. *Calorifères à eau chaude et à haute pression.* Les tuyaux em-

ployés à la fabrication de ce genre de calorifères sont en fer creux, et ont $0^m,025$ de diamètre extérieur et $0^m,012$ de diamètre intérieur. Ces tuyaux sont composés de bouts qui ont 4 mètres de longueur et vissés entre eux. On les essaye à 200 atmosphères de pression, mais, théoriquement, ils peuvent supporter une pression supérieure à 3000 atmosphères (127 ou 238).

Dans les calorifères construits en Angleterre, la température de l'eau à la partie supérieure du circuit varie de 150° à 200° , ce qui correspond à des pressions de 4,50 à 15 atmosphères (202); mais, dans le foyer, les tubes atteignant la température rouge, la pression est beaucoup plus grande; ainsi au rouge naissant, qui correspond à 525° , la pression est 1076 atmosphères (190 et 201).

Le développement total d'une circulation n'excède jamais 150 à 200 mètres; si la surface de chauffe exige une plus grande longueur, on emploie plusieurs circulations qui peuvent être chauffées par le même foyer.

En Angleterre, on compte sur deux pieds de longueur de tuyau pour chauffer 100 pieds cubes de capacité, ce qui revient à peu près à 1 mètre carré de surface de chauffe pour 80 mètres de capacité.

L'expérience prouve qu'il y a perte d'eau dans ces calorifères, et que, dans les grands appareils, il faut ajouter $1/2$ litre d'eau tous les 8 ou 10 jours.

En France, M. Gandillot établit ces calorifères à 9 fr. le mètre courant de tube, tout compris.

264. *Chauffage des liquides.* Lorsque l'on chauffe directement un liquide placé dans une chaudière, à l'aide d'un foyer placé dessous, la surface de chauffe peut encore se calculer d'après la considération qu'un mètre carré de cette surface laisse passer la quantité de chaleur nécessaire pour vaporiser de 15 à 20 kilog. d'eau en une heure (234); mais il convient de prendre un mètre carré de surface de chauffe pour 3 à 4 kilog. de houille ou 6 à 8 kilog. de bois à brûler par heure. Les différentes parties du fourneau se déterminent comme pour les chaudières à vapeur ordinaires (224 et 230).

Chauffage des bains. Supposons qu'il s'agisse de déterminer la quantité de charbon nécessaire pour chauffer l'eau dépensée pour 25 bains, l'eau froide étant à 5° .

Une baignoire contenant de 280 à 300 kilog. d'eau à 30°, la quantité de chaleur dépensée est, pour chauffer l'eau des 25 bains, $300 \times 25 (30 - 5) = 187500$ unités qui absorberont environ 31 kilog. de houille; on utilise facilement 6000 unités de chaleur par kilogramme de houille.

On ne chauffe qu'une partie de l'eau, et on l'élève à la température de 70° à 80°; le poids d'eau à échauffer de 5° à 80°, est alors pour les 25 bains $\frac{187500}{75} = 2500$ kilog.

265. *Chauffage des corps solides.* Dans les fours destinés à fondre la fonte, la quantité de chaleur utilisée, c'est-à-dire absorbée par le métal, pour s'échauffer et se fondre, n'est que les 0,09 de la chaleur totale développée par le combustible. (0,5 kilog. de coke pour fondre 1 kilog. de fonte, lequel, projeté dans 20 kilog. d'eau, en élève la température de 14°. *Traité de la chaleur*, par M. Pécelet.) M. Grouvelle évalue cette quantité de chaleur utilisée à 0,20 dans les fours de fusion de la fonte; à 0,05 dans les fours à pudler, ainsi que dans les fours à réchauffer les fers et les tôles; et à 0,02 dans les fours de verreries et dans ceux à cuire les poteries, les porcelaines, etc.

D'après des expériences de M. Ebelmen, la quantité de chaleur qu'emportent les gaz, est les 0,62 de la puissance calorifique du combustible pour le haut-fourneau de Clairval, marchant au charbon de bois; et les 0,67 pour celui d'Audincourt, marchant avec un mélange de bois et de charbon de bois. Cette perte est plus considérable pour les hauts-fourneaux au coke; ainsi on brûle de 140 à 220 kilog. de coke pour 100 kil. de fonte dans ces derniers, au lieu de 100 à 160 kilog. de charbon que l'on brûle dans les premiers.

Dans les fours continus destinés à la fabrication de la chaux, on emploie 1 volume de houille ou 1 volume 1/2 de coke pour 4 volumes de pierre à chaux. Les petits fours donnent 12 hectolitres de chaux par jour; et les plus grands, de 90 à 100 hectolitres.

Lorsqu'on cuit le plâtre au moyen des gaz perdus dans la fabrication du coke (219), il conviendrait de faire arriver sur le gaz un courant d'air qui en opérerait la combustion, et au delà de la flamme, un second courant d'air qui amènerait les gaz résultant de la com-

bustion à 200 ou 300°, attendu que la cuisson du plâtre s'opère à 100°. (Consulter la 5^e partie.)

266. *Perte de chaleur par les murailles d'habitation.* Cette perte est proportionnelle à la différence des températures de l'air intérieur et extérieur, lorsque cette différence n'est que d'un petit nombre de degrés; et, pour un mètre carré de surface de muraille et par heure, cette perte est

$$Q = \frac{KC(t-t')}{Ke + C}.$$

- C coefficient de conductibilité des matériaux dont la muraille est composée ou quantité de chaleur qui traverserait en une heure un mètre carré de surface d'un mur de 1 mètre d'épaisseur, pour une différence de températures de 1°;
- K coefficient de transmission de la surface extérieure du mur ou quantité de chaleur que perdrait en une heure un mètre carré de cette surface, pour une différence constante de 1° entre les températures intérieure et extérieure;
- e épaisseur de la muraille en mètres;
- t température intérieure;
- t' température extérieure.

Supposons $t = 15^\circ$, température convenable des lieux habités, et $t' = -5^\circ$, température rarement dépassée par les froids de nos climats, on a $(t - t') = 20^\circ$; et si les murs sont en pierre de taille de l'espèce employée à Paris, et pour laquelle on a $K = 9$ et $C = 0,8$; pour les valeurs successives de e

0^m,20, 0^m,30, 0^m,40, 0^m,50, 0^m,60,

la formule précédente donne, pour valeurs respectives de Q,

55, 41, 33, 27, 23.

Pour des murs en briques placés dans les mêmes circonstances, comme on a $K = 9$ et $C = 0,68$, les valeurs respectives de Q sont

49, 36, 29, 24, 20.

TABEAU des valeurs de K et de C pour différentes matières de construction et autres conduisant mal la chaleur. Ces matières sont supposées sèches, C augmente rapidement à mesure qu'elles sont plus humides. (Extrait du Traité de la chaleur de M. Pécelet.)

DÉSIGNATION des matières.	VALEUR DE		DÉSIGNATION des matières.	VALEUR DE	
	K.	C.		K.	C.
Pierre de liais (Paris).	9	0.80	Marbre blanc en fragm. de 0 ^m .001.	»	0.25
Brique ordinaire.	9	0.68	<i>Id. id.</i> de 0 ^m .0005 »	»	0.27
Plâtre ordinaire.	8	0.73	<i>Id.</i> en poudre.	»	0.38
Bois de sapin	8	0.17	Verre	9	0.27
Bois de chêne.	8	0.32	Terre à fourn., sèche. »	»	0.30
Bois d'acacia	8	0.26	<i>Id.</i> avec 0.04 d'eau. »	»	0.46
Liège	7	0.093	<i>Id.</i> avec 0.08 d'eau. »	»	1.28
Paille hachée	»	0.07	Drap fin.	9.47	0.046
Son	»	0.10	Couverture de laine.	6	0.085
Poussier de ch. de bois. »	»	0.35	Molleton de coton.	5.9	0.096
Poussier de coke.	»	0.44	Calicot blanc.	7.24	0.14
Terre à fourn., sèche. »	»	0.27	Calicot rouge	7	0.18
Coton très-divisé.	»	0.054	Cire jaune.	»	0.16
Coton fort, comprimé. »	»	0.17	Suif.	»	0.13
Laine très-divisée.	»	0.063	Ouate.	»	0.05
Laine fort, comprimée. »	»	0.136	Édredon légèr. pressé. »	»	0.06
Marbre blanc	9	0.70			

267. *Perte de chaleur par les fenêtres.* Cette perte est proportionnelle à la différence entre les températures intérieure et extérieure, et elle est en une heure, pour un mètre carré de surface de fenêtre et pour une différence de température de 1°,

Pour une seule vitre.	Unités.
Pour une seule vitre recouverte Intérieurement d'une mousseline légère.	3,66
Pour deux vitres espacées de 0 ^m .04.	3,00
Pour deux vitres espacées de 0 ^m .02.	1,70
Pour deux vitres espacées de 0 ^m .005	1,70
Pour deux vitres en contact.	2
	2,5

TABEAU de la quantité de chaleur qui traverse une vitre ordinaire, la quantité de chaleur émise par les rayons qui viennent la frapper étant représentée par 100.

DÉSIGNATION DES SOURCES DE CHALEUR.	CHALEUR qui traverse la vitre.
Flamme.	70
Métal incandescent.	45
Métal au-dessous de la température rouge.	7

268. *Perte totale de chaleur par les murailles et les fenêtres.* D'après les deux numéros précédents, la quantité de chaleur perdue en une heure par les parois d'un appartement est, en supposant que les vitres sont simples,

$$Q' = St \frac{KC}{Ke+C} + 3,66S't.$$

Q' perte de chaleur ;
S surface des murailles en mètres carrés ;
S' surface des vitres en mètres carrés ;
t différence entre les températures intérieure et extérieure.

A Paris, de 1840 à 1841, la température moyenne, pour chacun des mois de :

Octobre, novembre, décembre, janvier, février et mars, a été respectivement de :

9°,50, 8°,01, 2°,30, 2°,50, 2°,50, 9°,10,

ce qui donne pour moyenne totale, pendant ces six mois, 5°,65. Comme la température convenable des appartements est de 15°, la différence moyenne des températures intérieure et extérieure, pour les mois précédents, a donc été de 9°,35.

269. *Chaleur produite par les appareils de chauffage.* Ces appareils doivent être capables non-seulement de fournir la quantité de chaleur qui s'écoule par les parois de l'appartement, mais aussi de fournir en un très-petit nombre d'heures, la quantité de chaleur que ces parois ont perdue pendant les interruptions de chauffage.

D'après les observations de M. Pécelet, sur plusieurs chauffages

à vapeur, et notamment sur un chauffage de grande fabrique, pour une différence maximum de 20° entre les températures intérieure et extérieure, il faudrait calculer la puissance des appareils de chauffage, en comptant sur 70 unités de chaleur à fournir en une heure par mètre carré de surface de muraille de 0^m,33 à 0^m,35 d'épaisseur, et sur 80 unités par mètre carré de surface de vitre. D'après cela, pour une différence quelconque d entre les températures, les quantités précédentes de chaleur à fournir seront 70 $\frac{d}{20}$ et 80 $\frac{d}{20}$. Un calorifère construit d'après ces données peut, le matin, restituer en trois ou quatre heures la perte de chaleur qui a lieu pendant la nuit.

Des observations de M. Pécelet, il résulte aussi que les quantités de chaleur à fournir sont à peu près les mêmes pour des épaisseurs comprises entre les limites de 0^m,25 et 0^m,50, que pour des murailles de 0^m,33 à 0^m,35.

Pour le chauffage des ateliers par la vapeur, les ingénieurs admettent que, pour des ateliers de 8 mètres de largeur sur 3 mètres de hauteur, et dont la surface des vitres est le 1/6 de la surface totale, un tuyau en fonte de 0^m,40 de circonférence, parcourant seulement une fois la longueur de l'atelier, suffit pour y maintenir une température constante de 15°, pendant les temps les plus froids. Cela fait une surface de chauffe de 0^mc,40, qui peut transmettre 396 unités de chaleur en une heure, par mètre courant d'atelier (nos 261 et 262).

Pour les chauffages ordinaires à vapeur ou à air chaud, il paraîtrait que la température extérieure restant constante, la perte de chaleur pendant la nuit est à peu près le 1/3 de la perte qui a lieu dans le même temps pendant le chauffage; et que, pour le chauffage à eau chaude et à basse pression, cette fraction s'élèverait à 1/2.

Application. Soit à chauffer une pièce dont les murs en pierre de taille ont 800 mètres carrés de surface sur 0^m,50 d'épaisseur, et les vitres 160 mètres carrés de surface; la température intérieure étant 15°, et la plus basse température extérieure — 10°.

La quantité de chaleur transmise par les murs et les vitres est, pour une heure de chauffage (n° 268),

$$Q = 800 \times 25 \frac{9 \times 0,80}{9 \times 0,50 + 0,80} + 3,66 \times 160 \times 25 = 41810 \text{ unités.}$$

En supposant la température intérieure égale à 15°, et la température moyenne extérieure égale à 5°,65, valeur obtenue à Paris pour l'hiver de 1840-41 (n° 268), la valeur moyenne de Q' deviendra

$$41810 \frac{9,35}{25} = 15637 \text{ unités.}$$

Supposant que l'on chauffe pendant 12 heures par jour, et que le calorifère soit à eau chaude et à basse pression, la transmission de chaleur pendant les interruptions de chauffage sera la 1/2 de la transmission pour le même temps pendant la chauffe, et la valeur de Q' sera $15637 (12 + 6) = 281466$ unités de chaleur pour 24 heures. Supposant que un kilog. de houille produise 5000 unités de chaleur, il faudra en 24 heures, pour compenser la perte Q' , brûler

$$\frac{281466}{5000} = 56 \text{ kilog. de combustible.}$$

Supposons maintenant que la ventilation de cette pièce exige 8000 mètres cubes d'air par heure et pendant 10 heures par jour, et que sa température dans la cheminée d'appel soit de 45°. La chaleur absorbée pour porter la température des 80000 mètres cubes d'air de 5°,65 à 15° sera à peu près de

$$80000 \times 1,3 \times 9,35 \times \frac{1}{4} = 243100 \text{ unités;}$$

et celle nécessaire pour faire évacuer cet air, c'est-à-dire pour élever sa température de 15° à 45°, sera de

$$243100 \frac{45 - 15}{9,35} = 780000 \text{ unités;}$$

ce qui fait en tout, pour l'air de ventilation, 1023100 unités de chaleur qui exigeront à peu près 205 kilogrammes de houille.

La dépense totale moyenne journalière en combustible sera donc de $56 + 205 = 261$ kilog. de houille.

Lorsqu'une pièce contient un grand nombre de personnes, comme un amphithéâtre, la chaleur produite par la respiration

suffit pour compenser la perte qui a lieu par les murs et les fenêtres ; il suffit de chauffer l'air de ventilation à une température de très-peu supérieure à celle qu'il convient d'entretenir à l'intérieur de la pièce.

La chaleur perdue par les murailles et les vitres est généralement fournie par un excès de température donné à l'air de ventilation ; cependant, si cet excès était assez considérable pour engendrer quelques inconvénients, il faudrait avoir recours à des surfaces rayonnantes.

Les différentes parties des appareils de chauffage se construisent pour les jours les plus froids de l'hiver, et de manière que le matin et en un petit nombre d'heures ils puissent amener l'air et les murs de la salle à la température qu'ils doivent avoir pendant le jour. Il convient de disposer les appareils de manière que, pendant ce chauffage préliminaire, on puisse interrompre la ventilation ; ainsi, le calorifère étant à air chaud, il convient de pouvoir faire aller successivement l'air de la salle au calorifère et du calorifère à la salle.

Lorsque dans une grande salle de réunion on fait arriver l'air chaud par un grand nombre d'orifices placés sous les bancs, la section de ces orifices doit être calculée de manière que la vitesse de l'air n'y dépasse pas 0^m,20 par seconde.

VENTILATION.

270. *Air nécessaire à la respiration.* D'après les expériences de M. Dumas, un homme, par sa respiration, transforme en acide carbonique, par heure, tout l'oxygène contenu dans 90 litres d'air, et le volume d'air qu'il expire est de 333 litres qui contiennent à peu près 0,04 d'acide carbonique.

271. *Air vicié par la transpiration.* Il résulte, des expériences de Séguin et de M. Dumas, qu'un homme, par sa transpiration cutanée et pulmonaire, produit en une heure 37,5 grammes de vapeur d'eau, qui peuvent être dissous par 5^mc,846 d'air à 15° et déjà moitié saturé (205). La quantité d'air que vicié un homme en une heure, par sa respiration et sa transpiration, est donc moyennement de 6^mc,179. M. Péclot en introduisant 6 mètres cubes d'air par élève, dans une école située rue Neuve-Coquenard et contenant ordinairement 200 élèves, a remarqué que l'air intérieur n'avait jamais

d'odeur. Les expériences de M. Leblanc, dans une salle contenant 180 élèves, confirment les résultats de M. Péclot. Une ventilation de 6 à 7 mètres cubes d'air en une heure, par individu, suffit pour la salle des séances de la Chambre des députés, qui contient de 1000 à 1100 personnes.

272. *Air vicié par l'éclairage.* Dans la combustion des matières employées à l'éclairage, on peut admettre que l'air qui alimente la combustion n'est brûlé qu'au 1/3.

TABLEAU des poids de quelques matières brûlés en une heure, des volumes d'air nécessaires à la combustion, et des quantités relatives de lumière produites.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	POIDS brûlé.	VOLUME D'AIR brûlé au tiers.	LUMIÈRES relatives.
Chandelles de six à la livre.	gr. 11	m. c. 0.322	11
Bougie.	11	0.322	14
Lampes gros bec.	42	1.266	100

Ce tableau permet de calculer la quantité d'air vicié par l'éclairage artificiel d'une pièce, et comme, d'après les nos 270 et 271, on a les quantités d'air viciées par la respiration et par la transpiration des personnes, il est donc facile de déterminer la quantité d'air à introduire dans une pièce contenant un nombre déterminé de personnes, et dont l'éclairage artificiel consomme un poids donné de bougie ou d'huile.

L'air vicié par la respiration et la transpiration est encore propre à l'alimentation du foyer de chauffage, qui, dans les appartements chauffés par le rayonnement du combustible, suffit généralement à l'appel de tout l'air nécessaire à la ventilation.

273. *Chaleur produite par la respiration.* D'après M. Dumas, la quantité de carbone brûlée en une heure par l'acte de la respiration d'un homme est de 10 grammes ; la chaleur développée est donc de 71,7 unités (211, expériences de Dulong). Une partie de cette chaleur est employée à former les 37,5 grammes de vapeur fournis par la transpiration (271), le reste $71,7 - 0,0375 \times 650 = 47,3$ unités est employé à chauffer l'air environnant, et joue un grand

rôle dans le chauffage des lieux habités. En effet, pour porter de 0° à 20° les 6 mètres cubes d'air consommés en une heure par la respiration et la transpiration d'un homme (270 et 271), il suffit de $\frac{6 \times 1,3 \times 20}{4} = 39$ unités de chaleur (1^k,3, poids d'un

mètre cube d'air à 0° sous la pression 0^m,76 (27), 4, rapport approché de la capacité calorifique de l'eau à celle de l'air (196)), c'est-à-dire, moins que l'excès 47,3 unités provenant de la respiration. De là, il résulte que s'il n'y avait pas de refroidissement par les parois d'une pièce habitée dont l'air aurait été préalablement porté à 20°, cette température resterait constante en y introduisant $\frac{6 \times 47,3}{39} = 7,28$ mètres cubes d'air à 0°, par personne et par heure.

La température du corps humain est de 37°; celle des oiseaux, de 43 à 44°; celle des mammifères, de 37 à 40°; et celle des poissons, de 14 à 25°.

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

274. *Éclairage au gaz.* La flamme du gaz de l'éclairage est d'autant plus brillante, que l'hydrogène contient plus de carbone, que le nombre des particules de carbone est plus grand, et que la température de l'air d'alimentation et par suite celle de la flamme sont plus élevées.

Un gros bec en éventail use 1 fois 1/2 plus de gaz qu'un petit bec. A Paris, l'éclairage d'un de ces gros becs coûte 0^f,09 l'heure, et celui d'un petit bec, 0^f,065 s'il finit à 10 heures et 0^f,06 s'il finit à 11 heures ou minuit.

L'éclairage d'un bec de lampe Carcel consommant 42 grammes d'huile épurée à l'heure coûte, pour un éclairage journalier de 5 heures, 134^f,47 par an, y compris l'entretien et le nettoyage de la lampe, qui coûtent, par abonnement, 18 fr. par an, et les mèches dont la consommation est de 1 fr. 50 c. par an. Pour le même temps d'éclairage journalier par le gaz à l'huile, on paye 108 fr. par an pour un bec, et par le gaz à la houille, 93^f,60. La lumière dans ce dernier cas étant à celle de la lampe Carcel dans le rapport de 1,40 à 1, la lumière annuelle d'une lampe Carcel, produite avec du gaz à la houille, ne coûterait donc que 66^f,85.

Pour que la distribution du gaz se fasse convenablement, il faut que sa pression soit au moins de 1 pouce d'eau (0^m,027), et comme la pression dans les cornues doit être aussi petite que possible, il faut donc tâcher de placer l'usine au point le plus bas de la distribution.

Pour alimenter 2600 becs consommant chacun 3 pieds cubes (0^m,10283) de gaz à l'heure, la pression étant de 18 lignes d'eau (0^m,04), le diamètre du tuyau doit être de 6 pouces (0^m,162), d'où il résulte que la vitesse du gaz y est de 3^m,60 par seconde.

Il convient de placer les tuyaux de conduite à 1 mètre de profondeur en terre, afin qu'ils ne soient atteints, ni par la gelée qui les brise, ni par les vibrations des voitures qui les ébranlent.

Les cornues servant à la distillation de la houille doivent être en fonte grise, ni trop grise ni trop blanche, afin qu'elles ne soient ni trop perméables au gaz, ni trop cassantes. Elles ont 0^m,035 d'épaisseur; leur longueur ordinaire varie de 5 à 7 pieds (1^m,624 à 2^m,274); leur largeur intérieure, de 1 pied 1/2 à 2 pieds (0^m,487 à 0^m,650); et leur hauteur, de 10 pouces à 15 pouces (0^m,271 à 0^m,406). Quelquefois on ne place qu'une cornue dans un four; quelquefois, 5; mais le plus souvent on en place 3.

Pendant la distillation, le volume de la houille augmente quelquefois des 2/5 de son volume primitif; aussi, a-t-on soin de charger un volume de houille qui n'est guère que la moitié de la capacité de la cornue. La température de la cornue pendant la distillation est le rouge cerise (190). La distillation d'une charge dure 6 heures, et des ouvriers exercés déchargent et rechargent une cornue en 2 ou 3 minutes.

La houille qui convient le mieux pour les usines à gaz, est celle qu'on désigne en Angleterre sous le nom de channel-coal; sa composition est de 74,47 de charbon, 5,42 d'hydrogène, 19,61 d'oxygène et 0,50 de cendres; elle donne 320 litres de gaz par kilog. En Angleterre, 1 kilog. de houille moyenne fournit 230 litres de gaz, et celle du nord de la France, 210 litres (n° 218).

La capacité d'un gazomètre est variable; ainsi, elle n'est quelquefois que de 100000 pieds cubes (3428 mètres cubes) et on en a un certain nombre dans la même usine; à l'usine française, le gazomètre a 100 pieds (32^m,48) de diamètre, et 50 pieds (16^m,24) de

hauteur, ce qui fait une capacité de 392 500 pieds cubes (13455 mètres cubes); c'est un des plus grands qui existent.

Il y a aujourd'hui à Londres 18 établissements qui fournissent du gaz; ils appartiennent à 12 compagnies. Leur capital total s'élève à 2 800 000 liv. (70 582 400 fr.). Les bénéfices annuels sont évalués à 450 000 livres (11 343 600 fr.). Ces 18 établissements consomment par an 180 000 tonnes de houille (soit 2 000 000 hect.), et fournissent 1 460 millions de pieds anglais cubes de gaz (41 338 440 mètres cubes). Il y a dans Londres 134 300 becs dans les maisons particulières, 30 400 pour l'éclairage des rues et 380 candélabres. Il y a 176 gazomètres pouvant contenir 5 millions et demi de pieds cubes de gaz (155 727 mètres cubes). Les 18 établissements occupent 2 500 personnes.

ÉTABLISSEMENT DES MANUFACTURES DITES INSALUBRES.

275. *Décret du 15 octobre 1810.* Ce décret divise les manufactures et ateliers répandant une odeur insalubre ou incommode en trois classes. Une ordonnance du roi du 14 janvier, les divise de la même manière, et donne une nomenclature plus complète des établissements contenus dans chaque classe; nous allons reproduire cette nomenclature.

PREMIÈRE CLASSE.

Établissements et ateliers qui ne peuvent être formés dans le voisinage des habitations particulières, et pour lesquels il est nécessaire de se pourvoir d'une autorisation de Sa Majesté, accordée en conseil d'État.

(f.) signifie fabrique de.

Acide nitrique (eau forte) (f.).	Boyaudiers.
Acide pyroligneux (f.), lorsque les gaz se répandent dans l'air sans être brûlés.	Cendres gravelées (f.), lorsqu'on laisse répandre la fumée en dehors.
Acide sulfurique (f.), affinage de métaux au fourneau à coupelle ou au fourneau à réverbère.	Cendres d'orfèvres (traitement des), par le plomb.
Amidonniers.	Chanvre (rouissage du) en grand par son séjour dans l'eau.
Artificiers.	Charbon de terre (épuration du) à vases ouverts.
Bleu de Prusse (f.), lorsqu'on n'y brûle pas la fumée et le gaz hydrogène sulfuré.	Chaux (fours à) permanents.
	Cordes à instruments (f.).
	Cretonniers.

Culrs vernis (f.).	Rouge de Prusse (f.) à vases ouverts.
Équarissages.	Sel ammoniac ou muriate d'ammoniaque (f.), par le moyen de la distillation des matières animales.
Échaudoirs.	Soufre (distillation du).
Encre d'imprimerie (f.).	Suif brun (f.).
Fourneaux (hauts-).	Suif en branches (fonderie du) à feu nu.
Les établissements de ce genre ne sont autorisés qu'autant que les entrepreneurs ont rempli les formalités prescrites par la loi du 21 avril 1810.	Suif d'os (f.).
Glaces (f.).	Sulfate d'ammoniaque (f.) par le moyen de la distillation des matières animales.
Goudron (f.).	Sulfate de cuivre (f.) au moyen du soufre et du grillage.
Huile de pied de bœuf (f.).	Sulfate de soude (f.), à vases ouverts.
Huile de poisson (f.).	Sulfures métalliques (grillage des) en plein air.
Huile de térébenthine et huile d'aspic (distillerie en grand).	Tabac (combustion des côtes du) en plein air.
Huile rousse (f.).	Taffetas cirés (f.).
Litharge (f.).	Taffetas et toiles vernis (f.).
Massicot (f.).	Tourbe (carbonisation de la), à vases ouverts.
Ménageries.	Tripiers.
Minium (f.).	Tuileries, dans les villes dont la population dépasse 10,000 âmes.
Noir d'ivoire et noir d'os (f.), lorsqu'on n'y brûle pas la fumée.	Vernis (f.).
Orseille (f.).	Verres, cristaux et émaux (f.).
Plâtre (fours à) permanents.	
Pompes à feu ne brûlant pas la fumée, (n° 239).	
Porcheries.	
Poudrettes.	

La demande en autorisation des établissements de la première classe est présentée au préfet, et affichée par son ordre dans toutes les communes, à 5 kilom. de rayon.

Outre cette affiche de demande, il est également procédé à des informations de *commodo et incommodo*.

Tout particulier est admis à présenter ses moyens d'opposition; les maires des communes ont la même faculté.

S'il y a des oppositions, le conseil de préfecture donne son avis, sauf la décision du conseil d'État.

S'il n'y a pas d'opposition, la permission est accordée, s'il y a lieu, sur l'avis du préfet et le rapport du ministre de l'intérieur.

S'il s'agit de fabriques de soude, ou si la fabrique est établie dans la ligne des douanes, le directeur général des douanes est consulté.

Outre ces formalités, la formation des fabriques de ce genre ne peut avoir lieu qu'après que les agents forestiers en résidence sur les lieux ont donné leur avis sur la question de savoir si la production des bois dans le canton, et les besoins des communes environnantes, permettent d'accorder la permission.

L'autorité locale indique le lieu où les manufactures et ateliers compris dans la première classe peuvent s'établir, et exprime sa distance des maisons particulières. Tout individu qui fait des constructions dans le voisinage de ces manufactures et

ateliers, après que la formation en a été permise, n'est plus admis à en solliciter l'éloignement.

DEUXIÈME CLASSE.

Établissements et ateliers dont l'éloignement des habitations n'est pas rigoureusement nécessaire, mais dont il importe néanmoins de ne permettre la formation qu'après avoir acquis la certitude que les opérations qu'on y pratique sont exécutées de manière à ne pas incommoder les propriétaires du voisinage, ni à leur causer des dommages.

Acler (f.).	Hareng (saurage du).
Acide muriatique (f.), à vases clos.	Hongroyeurs.
Acide muriatique oxygéné (f.)	Huiles (épuration des) au moyen de l'acide sulfurique.
Acide pyroligneux (f.), lorsque les gaz sont brûlés.	Indigoteries.
Ateliers à enfumer les lards.	Liqueurs (f.).
Blanc de plomb ou de céruse (f.).	Maroquiniers.
Bleu de Prusse (f.), lorsqu'on brûle la fumée et l'hydrogène sulfuré.	Mégissiers.
Cartonniers.	Noir de fumée (f.).
Cendres d'orfèvres (traitement des), par le mercure et la distillation des amalgames.	Noir d'ivoire et noir d'or (f.), lorsqu'on brûle la fumée.
Cendres gravelées (f.), lorsqu'on brûle la fumée.	Or et argent (affinage d'), au moyen du départ et du fourneau à vent.
Chamoiseurs.	Os (blanchiment des), pour les éventailistes et boutonnières.
Chandeliers.	Papier (f.).
Chapeaux (f.).	Parcheminiers.
Charbon de bois fait à vases clos.	Pipes à fumer (f.).
Charbon de terre épuré, lorsqu'on travaille à vases clos.	Plomb (fonte de) et laminage de ce métal.
Châtaignes (dessiccation et conservation des).	Poëliers-fournalistes.
Chiffonniers.	Porcelaine (f.).
Cire à cacheter (f.).	Potiers de terre.
Corroyeurs.	Rouge de Prusse (f.), à vases clos.
Couverturiers.	Salaisons (dépôts de).
Cuir verts (dépôts de).	Sel ou muriate d'étain (f.).
Culvre (fonte et laminage de).	Sucre (raffineries de).
Eau-de-vie (distillerie d').	Suif (fonderies de) au bain-marie ou à la vapeur.
Falence (f.).	Sulfate de soude (f.), à vases clos.
Fondeurs en grand, au fourneau à réverbère.	Sulfate de fer et de zinc (f.), lorsqu'on forme ces sels de toutes pièces avec l'acide sulfurique et les substances métalliques.
Galons et tissus d'or et d'argent (broderie en grand des).	Sulfures métalliques (grillage des), dans les appareils propres à retirer le soufre
Genièvre (distilleries de).	
Goudron (f.), à vases clos.	

ou à utiliser l'acide sulfureux qui se dégage.	Toiles (blanchiment des) par l'acide muriatique oxygéné.
Tabacs (f.).	Tourbe (carbonisation de la), à vases clos.
Tabatières en carton (f.).	Tuiles et briqueteries.
Tanneries.	

L'autorisation de former les établissements et ateliers compris dans la seconde classe, est accordée sur une demande de l'entrepreneur adressée au sous-préfet de l'arrondissement, qui la transmet au maire de la commune dans laquelle on projette de former l'établissement, en le chargeant de procéder à des informations de commodo et incommodo. Ces informations terminées, le sous-préfet prend sur le tout un arrêté qu'il transmet au préfet; celui-ci statue, sauf le recours à notre conseil d'État, par toutes parties intéressées.

S'il y a opposition, il y est statué par le conseil de préfecture, sauf le recours au conseil d'État.

TROISIÈME CLASSE.

Établissements et ateliers qui peuvent rester sans inconvénient auprès des habitations particulières, et pour la formation desquels il est néanmoins nécessaire de se munir d'une permission du préfet, qui prend préalablement l'avis du maire et de la police locale.

Les réclamations qui peuvent avoir lieu contre la décision prise, sont jugées au conseil de préfecture.

Acétate de plomb (sel de Saturne) (f.).	Doreurs sur métaux.
Batteurs d'or et d'argent.	Eau seconde (f.) des peintres en bâtiment, alcalis caustiques et dissolutions.
Blanc d'Espagne (f.).	Encre à écrire (f.).
Bois doré (brûleries de).	Essayeurs.
Boutons métalliques (f.).	Fer-blanc (f.).
Borax (raffinage du).	Feuilles d'étain (f.).
Brasseries.	Fondeurs au creuset.
Briqueteries ne faisant qu'une seule fournée en plein air, comme on le fait en Flandre.	Fromages (dépôts de).
Campbre (préparation et raffinage du).	Glaces (étamage des).
Caractères d'imprimerie (fonderies de).	Laques (f.).
Cendres (laveurs de).	Moulins à huile.
Cendres bleues ou autres précipités de cuivre (f.).	Ocre jaune (calcination de l'), pour la convertir en ocre rouge.
Chaux (fours à), ne travaillant pas plus d'un mois par année.	Papiers peints et papiers marbrés (f.).
Ciriers.	Plâtre (fours à), ne travaillant pas plus d'un mois par année.
Colles de parchemin et d'amidon (f.).	Plombiers et fontainiers.
Corne (travail de la) pour la réduire en feuilles.	Plomb de chasse (f.).
Cristaux de soude (f.), sous-carbonate de soude cristallisé.	Pompes à feu, brûlant leur fumée (239).
	Potasse (f.).
	Potiers d'étain.

Sabots (ateliers à enfumer les).
 Salpêtre (fabrication et affinage du).
 Savonneries.
 Sel de soude sec (f.), sous-carbonate de soude sec.
 Sel (raffineries de).
 Soude (f.), ou décomposition du sulfate de soude.
 Sulfate de cuivre (f.), au moyen de l'acide sulfurique et de l'oxyde de cuivre, ou du carbonate de cuivre.
 Sulfate de potasse (raffinage du).
 Sulfate de fer et d'alumine, extraction de ces sels, des matériaux qui les con-

tiennent tout formés, et transformation du sulfate d'alumine en alun.
 Tartre (raffinage du).
 Teinturiers.
 Teinturiers-dégraisseurs.
 Tueries, dans les communes dont la population est au-dessous de 10 000 habitants.
 Vacheries, dans les villes dont la population excède 5 000 habitants.
 Vert-de-gris et verdelet (f.).
 Viandes (salaison et préparation des).
 Vinaigre (f.).

L'accomplissement des formalités prescrites pour l'établissement des manufactures comprises dans ces trois classes, ne dispense pas de celles qui sont prescrites pour la formation des établissements qui sont placés dans le rayon des douanes ou sur une rivière, qu'elle soit navigable ou non.

Les attributions données aux préfets et aux sous-préfets, relativement à la formation des établissements répandant une odeur insalubre ou incommode, sont exercées par le préfet de police dans toute l'étendue du département de la Seine, et dans les communes de Saint-Cloud, de Meudon et de Sèvres, du département de Seine-et-Oise.

TROISIÈME PARTIE.

Machines à vapeur.

276. Dénominations des machines à vapeur.

Machine sans détente ni condensation. Ce sont les machines dans lesquelles la vapeur agit à pleine pression pendant toute la course du piston, et où elle se dégage librement dans l'atmosphère après son action.

Machines à condensation sans détente. Ce sont les machines dans lesquelles la vapeur agit à pleine pression pendant toute la course du piston, mais où elle se condense, après son action, de manière à former un vide plus ou moins parfait derrière le piston.

Machines à détente sans condensation. Ce sont les machines dans lesquelles la vapeur n'agit à pleine pression que pendant une partie de la course du piston, pour agir seulement en se détendant pendant le reste de la course, et dans lesquelles la vapeur se dégage librement dans l'atmosphère après son action.

Machines à détente et à condensation. Ce sont les machines dans lesquelles la vapeur agit à pleine pression pendant une portion de la course du piston et par détente pendant l'autre portion, et dans lesquelles la vapeur se condense après son action.

Les machines à vapeur prennent encore les dénominations de :

Machines à basse pression, ce sont les machines dans lesquelles la pression absolue de la vapeur dans la chaudière est inférieure à deux atmosphères ;

Machines à moyenne pression, ce sont les machines dont la pression absolue de la vapeur dans la chaudière varie de 2 à 4 atmosphères.

Machines à haute pression, ce sont les machines où la pression absolue de la vapeur dans la chaudière dépasse 4 atmosphères. En Amérique, cette pression absolue est quelquefois portée à 10 ou 11 atmosphères.

Dans l'industrie, on désigne aussi les machines à vapeur par le nom de leurs inventeurs; mais, alors, on désigne plutôt un mode d'agencement de pièces imaginé par l'inventeur, que le mode d'emploi de la vapeur.

TRAVAIL THÉORIQUE PRODUIT PAR LA VAPEUR.

277. *Travail théorique produit par un kilogramme de vapeur, quand on ne fait pas usage de la détente.* En négligeant le frottement du piston et de sa tige, et en supposant un vide parfait sur l'une des faces du piston, le travail produit par 1 kilog. de vapeur agissant sur l'autre face est, en supposant qu'il n'y a pas refroidissement de la vapeur,

$$T_m = h\pi r^2 z = Vh.$$

T_m travail produit, en grandes unités dynamiques (19);
 h pression de la vapeur sur le piston, exprimée en mètres de hauteur d'eau,
 r rayon du piston, en mètres;
 z espace parcouru par le piston, en mètres;
 πr^2 surface du piston, en mètres carrés;
 $h\pi r^2$ force avec laquelle la vapeur sollicite le piston, en unités de 1000 kilogrammes;
 $V = \pi r^2 z$ volume engendré par le piston ou volume d'un kilogramme de vapeur sous la pression h .

Si le vide n'était pas fait derrière le piston, ou s'il n'était fait qu'imparfaitement, comme cela a toujours lieu en pratique, en désignant par h' la pression en mètres d'eau qui en résulterait derrière le piston, on aurait

$$T_m = Vh - Vh' = V(h - h').$$

TABLEAU des valeurs de T_m , c'est-à-dire des quantités de travail théoriques produites par un kilogramme de vapeur à différentes pressions, suivant que $h' = 10^m.334$, pression atmosphérique, ou que $h' = 0$ (*).

PRESSION ABSOLUE h DE LA VAPEUR		VALEUR DE $\pi r^2 z$, ou volume de 1 k. de vapeur.	VALEUR DE T_m en grandes unités dynamiques, quand	
en atmosphères.	en mètres de hauteur d'eau.		$h' = 0.$	$h' = 10^m.334.$
0.25	2.583	m.cub. 6.114	15.79	— 47.39
0.50	5.167	3.191	16.49	— 16.49
0.75	7.751	2.209	17.12	— 5.70
1.00	10.334	1.696	17.52	0
1.25	12.917	1.381	17.84	+ 3.57
1.50	15.502	1.169	18.12	6.04
1.75	18.085	1.015	18.36	7.87
2.00	20.668	0.898	18.57	9.29
2.25	23.251	0.806	18.75	10.42
2.50	25.836	0.732	18.91	11.35
2.75	28.419	0.670	19.05	12.13
3.00	31.002	0.619	19.19	12.79
3.25	33.587	0.575	19.32	13.37
3.50	36.170	0.538	19.45	13.89
3.75	38.753	0.505	19.57	14.35
4.00	41.336	0.476	19.69	14.77
4.25	43.919	0.451	19.80	15.14
4.50	46.502	0.428	19.91	15.48
4.75	49.087	0.408	20.01	15.79
5.00	51.670	0.389	20.11	16.09
5.50	56.838	0.357	20.29	16.60
6.00	62.004	0.330	20.47	17.06
6.50	67.174	0.307	20.64	17.47
7.00	72.338	0.287	20.80	17.83
7.50	77.506	0.270	20.95	18.16
8.00	82.672	0.255	21.09	18.45
8.50	87.838	0.241	21.21	18.71
9.00	93.006	0.229	21.32	18.95
9.50	98.174	0.218	21.42	19.16
10.00	103.340	0.208	21.50	19.35

(*) La densité du mercure étant 13,598 (n° 28), la pression d'une atmosphère fait

D'après ce tableau, on voit que l'avantage de la condensation de la vapeur derrière le piston, diminue à mesure que la pression de la vapeur sur le piston augmente; en pratique, cet avantage n'est guère réel que pour des pressions qui ne dépassent pas 4 ou 5 atmosphères.

278. *Travail théorique produit par un kilogramme de vapeur d'eau quand on emploie la détente.* En admettant la loi de Clément (198), que la même quantité de chaleur suffit pour constituer vapeur 1 kilog. d'eau, quel que soit le volume de la vapeur, il s'ensuit que la loi de Mariotte sur l'influence de la pression sur le volume des gaz (194) s'applique à la vapeur comme aux gaz; et que, pour un même poids de vapeur, les volumes sont en raison inverse des pressions. Le changement de température de la vapeur modifie cette loi; mais comme dans les machines à vapeur la température est peu différente pour les pressions auxquelles on emploie la vapeur, on peut négliger l'effet de la dilatation, dont le coefficient n'est que de 0,00364 par degré.

De ces hypothèses, il résulte que le travail total théorique produit par 1 kilog. de vapeur qui agit par détente pendant une portion de la course du piston, est, en supposant un vide parfait derrière le piston,

$$T_m = Vh + Vh \log \left(\frac{z}{z_0} \right) \times 2,3026.$$

- T_m travail produit, en grandes unités dynamiques (19);
 V volume en mètres cubes du kilog. de vapeur avant la détente, c'est-à-dire, à la pression h (tableau n° 277);
 h pression de la vapeur avant la détente, en mètres de hauteur d'eau;
 z course totale du piston, en mètres;
 z_0 espace parcouru par le piston avant la détente;
 Vh travail produit avant la détente (277);
 $Vh \log \left(\frac{z}{z_0} \right) \times 2,3026$ travail produit par la détente.

équilibre à une colonne d'eau de $0,76 \times 13,598 = 10^m,33448$; dans ce tableau on a adopté $10^m,334$ pour cette pression, au lieu de $10^m,3253$ que l'on a pris au n° 202 pour calculer la pression en kilog. sur un centimètre carré de surface. Les volumes de 1 kilog. de vapeur sont d'accord de distance en distance avec ceux du n° 202, et en diffèrent légèrement entre ces intervalles; cette modification a été faite afin que l'augmentation des valeurs de T_m diminuât suivant une progression régulière, ce qui n'avait pas lieu rigoureusement avec les volumes du n° 202. Du reste, ces changements sont sans importance pour la pratique, et pour les pressions non comprises dans ce tableau, on pourra calculer les valeurs de T_m à l'aide des résultats du n° 202.

Selon que dans une machine à vapeur à détente $\frac{z}{z_0}$ est égal à 2, 3, 4, etc., on dit que la détente est au 1/2, au 1/3, au 1/4, etc.

TABLEAU des valeurs de $Vh \log \left(\frac{z}{z_0} \right) \times 2,3026$, c'est-à-dire des quantités de travail théoriques produites par la détente d'un kilogr. de vapeur, pour différentes valeurs de $\frac{z}{z_0}$, le travail Vh produit avant la détente (277) étant représenté par 1.

VALEUR DE $\frac{z}{z_0}$	TRAVAIL dû à la détente.	VALEUR DE $\frac{z}{z_0}$	TRAVAIL dû à la détente.
1	0.000	6	1.791
2	0.693	7	1.946
3	1.098	8	2.079
4	1.386	9	2.197
5	1.609	10	2.3026

En pratique il convient de ne pas aller au delà de $\frac{z}{z_0} = 10$; car, une fois cette limite dépassée, le vide imparfait derrière le piston et les divers frottements de la machine absorbent un travail plus considérable que celui correspondant produit par la vapeur; c'est-à-dire qu'une fois le piston arrivé au point qui donne $\frac{z}{z_0} = 10$, le travail produit par la machine pendant le reste de la course du piston est négatif.

MACHINES A VAPEUR SANS DÉTENTE NI CONDENSATION.

279. *Effet d'une machine à vapeur sans détente ni condensation.* D'après ce qui a été dit n° 277, l'effet théorique produit par la vapeur dépensée en une seconde est

$$T'_m = V(h - h') = \pi r^2 v (h - h').$$

- T'_m travail développé par la vapeur dépensée en une seconde;
 $V = \pi r^2 v$ volume engendré par le piston ou volume de vapeur dépensé par seconde;
 v vitesse moyenne du piston par seconde;
 h pression absolue de la vapeur dans le cylindre;
 h' pression derrière le piston.

Pour avoir le travail moteur pratique que peut transmettre en une seconde l'arbre du volant de la machine, il faut affecter T'_m d'un coefficient K qui dépend des différentes résistances passives de la machine, et auquel on ne peut assigner de valeur moyenne qu'en estimant en bloc ces résistances; ainsi on a, en représentant par T_m ce travail pratique,

$$T_m = KT'_m = \pi r^2 v K (h - h').$$

On a théoriquement $h' = 10^m,334$, pression atmosphérique; mais, à cause de la petitesse de l'ouverture du tiroir, qui est le $1/25$ de la section du cylindre dans les machines à basse pression, et le $1/60$ seulement dans les machines à haute pression, la vapeur ne sort pas librement du cylindre, et on a $h' = 10^m,334$ plus $1/10$ à $1/8$ de $10^m,334$.

D'après M. Poncelet, quand le tuyau qui amène la vapeur de la chaudière au cylindre a un diamètre convenable, la tension de la vapeur est de $1/20$ moins élevée dans la chemise que dans la chaudière; mais il convient, dans l'établissement d'une machine, afin de ne pas être en défaut, de compter, pour des pressions de 4 à 5 atmosphères, que la tension absolue de la vapeur est de $1/2$ atmosphère moins élevée dans le cylindre que dans la chaudière. Dans les machines à basse pression, système de Watt, le diamètre du tuyau d'amenée de vapeur est ordinairement égal au $1/5$ de celui du cylindre (283); et la pression absolue de la vapeur étant une atmosphère dans le cylindre, il convient de timbrer les chaudières à une atmosphère $1/4$. Dans les machines à haute pression, le diamètre de ce tuyau varie du $1/7$ au $1/8$ de celui du piston; cependant, pour une machine de 12 à 16 chevaux, il ne convient guère de donner à ce tuyau moins de $0^m,055$ de diamètre.

TABLEAU des valeurs moyennes du coefficient K pour des machines en bon état ordinaire d'entretien.

FORCE DE LA MACHINE.	VALEUR DE K .
De 4 à 8 chevaux.	0.61
De 10 à 20 <i>id.</i>	0.70
De 30 à 50 <i>id.</i>	0.79
De 60 à 100 <i>id.</i>	0.85

En tenant la machine dans un mauvais état d'entretien, les valeurs du coefficient K diminuent sensiblement; il convient, pour l'établissement d'une machine qui doit être bien tenue, de ne compter que sur les valeurs précédentes.

280. *Calcul des dimensions d'une machine sans condensation ni détente.* Soit à déterminer, par exemple, les dimensions d'une telle machine capable de faire fonctionner la machine soufflante du haut-fourneau de Framont. Ce fourneau, marchant au charbon de bois, rapporte M. Morin, à $9^m,10$ de hauteur, la machine lui fournit par seconde $0^m, \text{cub.}, 462$ d'air froid à la pression de $0^m,049$ de mercure près de la buse; la buse a $0^m,08$ de diamètre; le rapport du volume d'air lancé au volume engendré par le piston est de 0,718; et le travail absorbé est de 8 chevaux.

Pression absolue de la vapeur dans le cylindre 3.5 atmosphères; il conviendrait de timbrer la chaudière à 4 atmosphères environ (240).

Vitesse moyenne du piston par seconde $0^m,90$.

Valeur de $K = 0,61$.

Valeur de $h = 10^m,334 \times 3.5 = 36^m,17$.

Valeur de $h' = 10^m,334 \times 1,125 = 11,63$.

Remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule

$$T_m = \pi r^2 v K (h - h'),$$

on a

$$8 \times 0,075 = 3,14 \times r^2 \times 0,90 \times 0,61 (36,17 - 11,63),$$

d'où on tire $r = 0^m,12$, et par suite le diamètre du piston $d = 0^m,24$.

Le volume de vapeur dépensé est, par seconde,

$$\pi r^2 v = 3,14 \times 0,12^2 \times 0,90 = 0^m, \text{c.}, 0407,$$

et, par heure

$$0^m, \text{c.}, 0407 \times 3600 = 147 \text{ mètres cubes.}$$

La densité de la vapeur à 3,5 atmosphères étant (n° 202) 0,00185886, le poids de vapeur dépensé par heure est

$$14,859 \times 147 = 273 \text{ kilog.}$$

Comme dans une machine, même bien faite, il y a $1/20$ de perte de vapeur, la dépense de vapeur est donc $273 + \frac{273}{20} = 287 \text{ kilog.}$

quantité qu'il faut encore augmenter de son 1/10 environ, pour tenir compte du refroidissement de toutes les parties qui contiennent la vapeur, et qu'on suppose ne donner lieu à aucune fuite; de sorte que, pour obtenir la force de 8 chevaux, il faut former 316 kilog. de vapeur, c'est-à-dire 39 kilog. environ par force de cheval.

Supposant que 1 kil. de houille produise 5,50 kil. de vapeur (235), on en brûlera $\frac{316}{5,50} = 57,5$ kil. pour obtenir la force de 8 chevaux; ce qui fait 7,2 kil. par force de cheval et par heure. Pour une plus forte machine, cette quantité serait moindre.

On peut diminuer la consommation de combustible de 1/10 environ en chauffant à 70° ou 80° l'eau d'alimentation, qui est moyennement à 12°, au moyen de la vapeur qui sort du cylindre.

Supposant que chaque mètre carré de surface de chauffe produise 20 kilog. de vapeur (234), cette surface sera de $\frac{316}{20} = 15^m,80$ ce qui fait 1^m,98 par force de cheval; cette surface serait moins considérable pour des machines puissantes. A cause des fuites accidentelles de vapeur qui peuvent avoir lieu, il est bon d'avoir un excès de surface de chauffe.

Dans toutes les machines à vapeur, on devrait prendre le rapport de la hauteur du cylindre à son diamètre égal à 2, afin que, pour un même volume, la surface du cylindre, qui est une surface refroidissante, fût un minimum; mais les machines sans détente ni condensation, consommant beaucoup de combustible, ne sont employées que dans les cas où la machine doit être simple, ou dans les localités où le combustible est bon marché, et on tient peu compte du refroidissement du cylindre dont la hauteur varie de 1,8 à 2,5 fois le diamètre.

On peut rendre bien étanche le piston en donnant à sa garniture métallique une hauteur de 0^m,05 à 0^m,06.

En Angleterre, la vitesse du piston est de 3 pieds par seconde (0^m,914); en France, elle varie de 0^m,80 à 1^m,10; en Amérique, on l'a portée à 2^m,00, 2^m,50 et même 3 mètres. Dans les locomotives (quatrième partie), la course des pistons étant de 0^m,46, le diamètre des roues motrices de 1^m,67, ce qui fait 5^m,24 de circonférence, à la

vitesse de 10 lieues à l'heure, chaque piston parcourt en une seconde

$$\frac{10 \times 4000}{3600} \times \frac{2 \times 0,46}{5,24} = 1^m,95.$$

Le nombre de coups de piston (un coup de piston comprend une montée et une descente), c'est-à-dire de tours de volant, varie de 25 à 30 par minute, pour des machines de 15 à 20 chevaux; au-dessous de 15 chevaux, on va à 35 et même 40 coups. Dans l'exemple précédent de locomotives, le nombre de coups est de 127.

La pression absolue de la vapeur dans la chaudière varie de 5 à 6 atmosphères; au-dessus de cette limite, les fuites de vapeur et les sujétions engendrées par une aussi forte pression, compensent l'augmentation de travail; de plus, la marche de la machine est irrégulière. En France, on ne dépasse pas 7 atmosphères; en Angleterre, on se tient ordinairement entre 3 et 4 atmosphères; en Amérique, on se trouve bien de marcher à 10 atmosphères, et on atteint jusqu'à 12 atmosphères.

281. *Travail absorbé par l'alimentation d'une chaudière.* Lorsque la pression absolue dans la chaudière est une atmosphère, le travail théorique absorbé pour y introduire un kilogramme d'eau est nul; si cette pression est 2 atmosphères, ce travail est 10,334 kilogrammètres; et si elle est $n + 1$ atmosphères, ce travail devient $10,334 \times n$ kilogrammètres: ainsi, pour $n + 1 = 3$ atmosphères, il est $10,334 \times 2 = 20^k,668$. Le travail pratique est double du travail théorique; de sorte que, dans ce dernier cas, il est de 41,336 kilogrammètres, c'est-à-dire, les 0,0032 de l'effet théorique 12 790 kilogrammètres produit par 1 kilog. de vapeur à la même pression et sans condensation (277); ce rapport augmente rapidement avec la pression; ainsi à $n + 1 = 6$ atmosphères, il est 0,0061 et à $n + 1 = 10$ atmosphères, 0,0096.

282. *Effet d'une machine à vapeur à condensation sans détente.* D'après ce qui a été dit (277), l'effet théorique T^m produit, dans

une telle machine, par la vapeur dépensée en une seconde, est, en représentant par h' la pression due au vide imparfait derrière le piston,

$$T_m = V(h - h') = \pi r^2 v (h - h').$$

Le travail pratique dont on peut disposer sur l'arbre du volant est

$$T_m = K T_m = \pi r^2 v K (h - h').$$

Les différentes lettres de ces formules ont les mêmes significations qu'aux nos 277 et 279.

TABLEAU des valeurs moyennes du coefficient K .

FORCE DE LA MACHINE.	VALEUR DE K .
De 4 à 8 chevaux.	0.60
De 10 à 20 <i>id.</i>	0.67
De 30 à 50 <i>id.</i>	0.73
De 60 à 100 <i>id.</i>	0.78

283. *Calcul des dimensions d'une machine à condensation sans détente.* Soit à déterminer les dimensions d'une machine capable de faire fonctionner 62 machines à lainer les draps, semblables à celles de l'établissement de la Vierge, à Sedan, où, d'après M. Poncelet, une machine de 20 chevaux en fait fonctionner 50.

La force de la machine est de 25 chevaux environ. Supposons la pression absolue de la vapeur dans le cylindre égale à une atmosphère; la pression derrière le piston, à $1/7$ d'atmosphère; et la vitesse moyenne du piston, à $1^m,00$ par seconde.

On a $K = 0^m,70$, $h = 10^m,334$, $h' = 1^m,476$ et $v = 1^m,00$.

Remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule

$$T_m = \pi r^2 v K (h - h'),$$

on a

$$25 \times 0,075 = 3,14 \times r^2 \times 1 \times 0,70 (10,334 - 1,476);$$

d'où on tire $r = 0^m,31$, et par suite le diamètre du piston $d = 0^m,62$.

Le volume de vapeur dépensé par seconde est

$$\pi r^2 v = 3,14 \times 0,31^2 \times 1 = 0^m,302.$$

ce qui fait par heure

$$0,302 \times 3600 = 1086 \text{ mètres cubes.}$$

A 1 atmosphère, la densité de la vapeur étant $0,00058955$ (n° 202), le poids de vapeur dépensé par heure est

$$0,58955 \times 1086 = 640 \text{ kilogrammes.}$$

Dans une bonne machine de ce genre, il faut augmenter cette dépense de vapeur de $1/10$ pour tenir compte des pertes de vapeur qui ont lieu dans les tiroirs, entre les fonds du cylindre et le piston, par les fuites et par le refroidissement; de sorte que la dépense réelle de vapeur est de 704 kilog. par heure.

En alimentant avec de l'eau à 40° , 1 kilog. de houille produisant facilement 6 kilog. de vapeur, on en brûlera $\frac{704}{6} = 117,33$ kilog.

pour obtenir la force de 25 chevaux, ce qui fait 4,70 kilog. par force de cheval et par heure. En pratique, cette consommation est ordinairement de 5 à 6 kilog. pour les petites machines, et de $4^k,50$ à 5 kilog. pour les grandes.

Supposant que chaque mètre carré de surface de chauffe produise 25 kilog. de vapeur à l'heure (234), cette surface sera de $\frac{704}{25} = 28,16$ mètres carrés, ce qui fait $1^m,13$ par force de cheval;

ordinairement on ne prend qu'un mètre carré par force de cheval.

La surface du cylindre est la plus petite possible, pour le même volume, quand la hauteur du cylindre est double de son diamètre. En enveloppant le cylindre d'un corps mauvais conducteur de la chaleur, on rendrait presque nul le refroidissement extérieur; et la chemise que l'on met au cylindre empêche la vapeur de se condenser contre ses parois, chaque fois qu'il est mis en communication avec le condenseur. Le rapport de la longueur au diamètre du cylindre, adopté par Watt et Boulton, a varié de $1,75 : 1$ jusqu'à $3 : 1$; mais la valeur la plus commune est $2,7 : 1$.

La vitesse du piston varie de $0^m,90$ à $1^m,10$ par seconde, et le nombre de tours de volant de 20 à 28 par minute.

La condensation permet de marcher à de très-basses pressions; ainsi, dans les machines de Watt, avec chaudières en tombeau, la

pression absolue de la vapeur dans la chaudière varie ordinairement de 1 atmosphère $1/4$ à 1 atmosphère $1/3$, et la pression dans le cylindre est quelquefois inférieure à une atmosphère, mais généralement elle est une atmosphère.

Le diamètre du tuyau qui conduit la vapeur de la chaudière aux tiroirs est le $1/5$ au moins de celui du cylindre, d'où il résulte que la vitesse du piston est à celle de la vapeur dans ce tuyau comme 1 est à 25 (279).

284. *Quantité d'eau nécessaire à la condensation de la vapeur. Capacité du condenseur et de la pompe à air. Pompe de puits.*

Le poids d'eau nécessaire pour condenser la vapeur dépensée est donné par la formule

$$Q(t' - t) = P(650 - t),$$

d'où on tire

$$Q = \frac{P(650 - t)}{t' - t}.$$

- Q poids d'eau nécessaire ;
 P poids de vapeur dépensé ;
 650 nombre d'unités de chaleur contenu dans un kilogramme de vapeur (198) ;
 t température de l'eau avant la condensation ;
 t' température de l'eau après la condensation.

Supposant $P=1$ kilog., $t=10^\circ$ et $t'=50^\circ$, on a

$$Q = \frac{650 - 50}{40} = 15 \text{ kilog.},$$

ce qui fait à peu près 15 litres.

TABLEAU de la quantité d'eau à différentes températures, nécessaire pour condenser un kilogramme de vapeur, et de la pression dans le condenseur, en négligeant la force élastique de l'air que laisse dégager l'eau, force élastique qui s'ajoute à celle de la vapeur.

TEMPÉRATURE de l'eau avant la condensation	TEMPÉRATURE de l'eau après la condensation	PRESSIION dans le condenseur. (202)	VOLUME d'eau employé.
10°	50°	atmosph. $\frac{1}{8,6}$	15.00
Id.	40	$\frac{1}{14,3}$	20.33
Id.	30	$\frac{1}{25}$	31.00

L'eau de rivière contient ordinairement $1/20$ de son volume d'air ; cet air se dégage dans le condenseur et produit une pression qui est en raison inverse de la capacité du condenseur, et qui s'ajoute à la force élastique de la vapeur. Ainsi en condensant à 50° , ce qui correspond à $1/8,6$ atmosphère de pression, les 15 litres d'eau froide employés contenant $\frac{15}{20} = 0,75$ d'air à la pression atmosphérique, si l'on suppose que la capacité que cet air occupe dans le condenseur soit de $0,75 \times 8,6 = 6,45$, sa force élastique sera égale, en négligeant l'effet de la dilatation, à $1/8,6$ atmosphère ; et cette force élastique s'ajoutant à celle de la vapeur qui est aussi $1/8,6$ atmosphère (202), la pression dans le condenseur devient $\frac{1}{8,6} + \frac{1}{8,6}$ atmosphère. Si la capacité occupée par l'air dans le condenseur était $6,45 \times 2$ litres, sa force élastique ne serait plus que de $\frac{1}{8,6 \times 2}$, et la

pression dans le condenseur ne serait plus que $\frac{1}{8,6} + \frac{1}{8,6 \times 2}$ atmosphère. On voit donc que la pression dans le condenseur est d'autant plus petite que la capacité du condenseur est plus grande. Watt a reconnu que, pour des pressions absolues de 1 atmosphère $1/4$ à une atmosphère $1/3$ de la vapeur dans la chaudière, le volume de la pompe à air devait être le $1/8$ de celui du cylindre à vapeur, et celui du condenseur égal à celui de la pompe à air ; avec ces proportions, la pression derrière le piston à vapeur n'est pas très-grande, et le travail absorbé par le frottement du piston de la pompe à air, travail qui dépend du diamètre et de la course de ce piston, ne dépasse pas une limite convenable.

Le diamètre du tuyau qui amène la vapeur du cylindre au condenseur ne doit pas être moindre que celui qui conduit la vapeur de la chaudière au cylindre (283).

La pression dans le condenseur et par suite derrière le piston, le volume d'eau et d'air à extraire du condenseur, et la profondeur de laquelle on est obligé d'élever l'eau de condensation, guident dans le choix de la température à laquelle il convient de condenser. Pour des profondeurs de puits de 8 à 10 mètres, il convient de condenser à 35 ou 40° ; pour des puits plus profonds, on condense

à 44 et même 50°; et on ne doit plus condenser dès que la profondeur du puits atteint 30 ou 40 mètres.

La profondeur de puits à laquelle on peut se passer de pompe élévatoire, est au maximum de 6^m,00 ou 6^m,50; au delà de cette limite, malgré le grand diamètre qu'il convient toujours de donner au tuyau d'aspiration, l'eau n'arrive plus dans le condenseur avec une vitesse suffisante.

Pour la machine de 25 chevaux (283), en condensant à 40°, avec de l'eau froide à 10°, la quantité d'eau froide nécessaire à la condensation des 704 kilog. de vapeur dépensés par heure, sera de

$$704 \frac{650 - 40}{40 - 10} = 14312 \text{ kilog.};$$

ce qui fait 573 kilog. par force de cheval.

Cette quantité est un minimum que l'on ne peut atteindre en pratique, et l'expérience prouve que la pompe de puits doit élever 1000 kilog. d'eau par force de cheval et par heure, c'est-à-dire, 25000 kilog. pour une machine de 25 chevaux. Quand la machine marche bien, 1/5 de cette eau reste disponible.

MACHINES A VAPEUR A DÉTENTE SANS CONDENSATION.

285. Effet d'une machine à vapeur à détente sans condensation. L'effet théorique T''_m produit, dans une telle machine, par la vapeur dépensée en une seconde, est, en supposant nulle la pression derrière le piston (278),

$$T''_m = Vh + Vh \log \left(\frac{z}{z_0} \right) \times 2,3026.$$

h' étant la pression derrière le piston, ce travail devient (277)

$$T'_m = T''_m - V \frac{z}{z_0} h' = Vh + Vh \log \left(\frac{z}{z_0} \right) \times 2,3026 - V \frac{z}{z_0} h'$$

ou

$$T_m = Vh \left(1 + \log \left(\frac{z}{z_0} \right) \times 2,3026 - \frac{h'}{h} \times \frac{z}{z_0} \right).$$

V volume de vapeur non détendue dépensé par seconde;

V $\frac{z}{z_0}$ volume engendré par le piston en une seconde;

V $\frac{z}{z_0} h'$ travail absorbé par h' en une seconde;

h' = 10^m,334 théoriquement, mais en pratique, à cause de la résistance de la vapeur dans les tuyaux d'échappement, et de la vitesse avec laquelle elle se dégage, h' augmente de 1/12 à 1/10 d'atmosphère, quand la vitesse du piston s'écarte peu de 1 mètre par seconde et que le diamètre du tuyau d'échappement varie de 1/7 à 1/8 de celui du piston.

Pour avoir le travail pratique T_m dont on peut disposer sur l'arbre du volant, il faut encore affecter la valeur de T'_m d'un coefficient K qui dépend des différentes résistances passives de la machine; ainsi on a

$$T_m = VhK \left(1 + \log \left(\frac{z}{z_0} \right) \times 2,3026 - \frac{h'}{h} \frac{z}{z_0} \right).$$

TABLEAU des valeurs moyennes du coefficient K.

FORCE DE LA MACHINE.	VALEUR DE K.
De 4 à 8 chevaux.	0.45
De 10 à 20 id.	0.58
De 30 à 50 id.	0.70
De 60 à 100 id.	0.81

286. Calcul des dimensions d'une machine à vapeur à détente sans condensation.

Force de la machine, 12 chevaux;

Pression absolue de la vapeur dans le cylindre avant la détente, 5 atmosphères.

Détente au 1/3 (278).

On a

$$K = 0,58, \quad h = 10^m,334 \times 5 = 51^m,67,$$

et

$$h' = 10,334 + \frac{10,334}{10} = 11,367, \quad \frac{z}{z_0} = 3 \quad \text{et} \quad \log \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,477.$$

Remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule

$$T_m = VhK \left(1 + \log \left(\frac{z}{z_0} \right) \times 2,3026 - \frac{h'}{h} \times \frac{z}{z_0} \right),$$

on a

$$0,075 \times 12 = V \times 51,67 \times 0,58 \left(1 + 0,477 \times 2,3026 - \frac{11,367}{51,67} \times 3 \right);$$

d'où on tire V = 0,021 de mètre cube.

Le volume de vapeur après la détente est alors $0^m,021 \times 3 = 0^m,063$.

Supposant la vitesse du piston égale à $0^m,90$ par seconde, on a, en représentant par d le diamètre du piston

$$\frac{\pi d^2}{4} \times 0^m,90 = 0,063,$$

d'où on tire

$$d = 0^m,298.$$

A 5 atmosphères la densité de la vapeur étant $0,00257363$ (202), le poids de vapeur dépensé en une heure est donc $2,57363 \times 0,021 \times 3600 = 194,57$.

On augmente encore cette dépense de $1/10$ pour tenir compte des pertes de vapeur qui ont lieu dans les tiroirs, entre les fonds du cylindre et le piston, et par le refroidissement; de sorte que pour une machine de 12 chevaux, la dépense de vapeur est $194,57 + \frac{194,57}{10} = 214$ kilog.; ce qui fait 17,83 kilog. par force de cheval et par heure.

Supposant que 1 kil. de houille produise 6 kil. de vapeur (235), comme cela a lieu quand on chauffe l'eau d'alimentation à 70 ou 80° au moyen de la vapeur qui se dégage, on en brûlera $\frac{214}{6} = 36$ kilog.

environ, ce qui fait 3 kil. par force de cheval et par heure. En pratique, pour des forces inférieures à 20 chevaux, la pression absolue de la vapeur dans la chaudière variant de 4 à 5 atmosphères, et la détente étant au $1/3$, il faut compter sur $3^k,5$ à 4 kil. de houille et quelquefois plus, par force de cheval et par heure; cette consommation est moindre pour des machines plus puissantes.

Un mètre carré de surface de chauffe produisant 20 kilog. de vapeur à l'heure (234); cette surface sera, pour une machine de 12 chevaux, $\frac{214}{20} = 10^m,7$, ce qui fait $\frac{10,7}{12} = 0^m,89$ environ par force de cheval; en pratique, on compte ordinairement sur un mètre carré par force de cheval.

En général, la pression absolue de la vapeur dans la chaudière

varie de 4 à 5 atmosphères; lorsqu'elle est de 4 atmosphères, la détente est au $1/2$, et lorsqu'elle est de 5 atmosphères, la détente est au $1/3$. M. Cavé a porté la pression dans la chaudière jusqu'à 7 atmosphères pour des machines de bateau; en Amérique, cette pression varie de 9 à 11 atmosphères et on détend au $1/3$.

Il y a des machines à détente fixe et des machines à détente variable.

Les cylindres de ces machines n'ont pas d'enveloppe.

MACHINES A VAPEUR A DÉTENTE ET CONDENSATION.

287. *Machines à deux cylindres, dites machines de Woolf.* Il y a des machines à détente et condensation qui n'ont qu'un cylindre à vapeur, et d'autres qui en ont deux. Dans ces dernières, qui sont les machines de Woolf, la vapeur agit simultanément à pleine pression sur le petit piston, et par détente sur le grand piston et derrière le petit. En supposant un vide parfait derrière le grand piston, l'effort théorique exercé par les pistons sur le balancier, à un instant quelconque de leur course, est

$$P = sh + (S - s) \frac{hc}{c + d(S - s)}.$$

- P effort théorique exercé par les tiges des pistons sur le balancier en unités de 1000 kilog.;
- s surface du petit piston en mètres carrés;
- h pression exercée par la vapeur non dilatée, sur le petit piston, en mètres de hauteur d'eau;
- S surface du grand piston en mètres carrés;
- c capacité du petit cylindre moins le volume du piston, en mètres cubes;
- d distance des pistons aux extrémités des cylindres, qu'ils viennent de quitter, en mètres.

Le premier terme sh de la valeur de P est la pression transmise par la vapeur non dilatée. Le volume de la vapeur non dilatée étant c , et le volume qu'elle occupe quand les pistons ont parcouru l'espace d étant $c + d(S - s)$, sa force élastique est $\frac{hc}{c + d(S - s)}$ (278), et la pression qu'elle transmet au balancier est $(S - s) \frac{hc}{c + d(S - s)}$.

Supposant, dans la formule précédente, que l'on a $S = 5s$, ce qui revient à une machine à un cylindre dont la détente est au $1/5$,

on trouve, pour une valeur quelconque de h , que les valeurs relatives de P , au commencement, au milieu et à la fin de la course des pistons, sont respectivement 20, 9,33 et 7,2. Ainsi, du commencement à la fin de la course des pistons, les efforts sur le balancier varient dans le rapport de 20 à 7,2 ou de 2,78 à 1; au lieu que dans une machine à un seul cylindre, détendant au $1/5$, ces efforts varient dans le rapport de 5 à 1.

Dans les machines à un cylindre, le changement d'effort de la vapeur sur le balancier étant plus brusque que dans celles à deux cylindres, il a moins d'influence sur la marche du volant, dont le poids n'a pas besoin d'être beaucoup plus fort que pour une machine à deux cylindres de même force; de sorte que, par un petit excès de poids donné au volant, on obtient une marche aussi régulière avec une machine à un cylindre qu'avec une machine à deux, on supprime un cylindre, et on simplifie les tiroirs et tout le mécanisme, tout en augmentant l'effet de la vapeur.

288. *Effet d'une machine à vapeur à détente et condensation.* Que la machine soit à un ou à deux cylindres, l'expression du travail moteur dont on peut disposer sur l'arbre du volant est la même que pour les machines à détente sans condensation (285), c'est-à-dire qu'on a

$$T_m = VhK \left(1 + \log \left(\frac{z}{z_0} \right) \times 23026 - \frac{h'}{h} \times \frac{z}{z_0} \right).$$

Les mètres lettres ont les mêmes significations qu'aux n^{os} 278 et 285;

$\frac{z}{z_0}$, pour une machine à deux cylindres, exprime le rapport de la capacité du grand cylindre à celle du petit.

h' , qui est la pression derrière le piston pour une machine à un cylindre, et derrière le grand piston pour une machine à deux cylindres, varie de $1/7$ à $1/9$ d'atmosphère, pour une température de 40° dans le condenseur, une vitesse de piston de $1^m,00$ par seconde et une très-grande section pour le tuyau allant du cylindre au condenseur (284).

TABLEAU des valeurs du coefficient K pour une machine à un cylindre.

FORCE DE LA MACHINE.	VALEUR DE K .
De 4 à 8 chevaux.	0.41
De 10 à 20 <i>id.</i>	0.52
De 30 à 50 <i>id.</i>	0.63
De 60 à 100 <i>id.</i>	0.74

Pour une machine à deux cylindres, il conviendrait de diminuer les valeurs précédentes de K de un dixième environ.

Pour les petites machines à deux cylindres, la détente est ordinairement au $1/4$, et pour les grandes, elle est à $1/5$.

Pour les machines à un cylindre il n'y a pas de règle pour fixer la détente; ordinairement elle est au $1/5$, et dans les épuisements, les machines qui communiquent le mouvement aux pompes sans mouvement de rotation détendent quelquefois au $1/8$. Les machines à détente et condensation sont à moyenne pression (276); mais les machines à basse pression peuvent aussi être à détente, c'est ce qui a lieu sur beaucoup de bateaux à vapeur.

289. *Calcul des dimensions d'une machine à détente et condensation à un seul cylindre.*

Force de la machine 40 chevaux, d'où $K = 0,63$; $h = 3 \text{ atm.} = 31^m,00$ et $h' = 1/8 \text{ d'atm.} = 1^m,292$; détente au cinquième, ce qui donne $\frac{z}{z_0} = 5$ et $\log \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,69897$.

Remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule

$$T_m = VhK \left(1 + \log \left(\frac{z}{z_0} \right) \times 2,3026 - \frac{h'}{h} \times \frac{z}{z_0} \right),$$

On a

$$0,075 \times 40 = V \times 31 \times 0,63 \left(1 + 0,69897 \times 2,3026 - \frac{1,292}{31} \times 5 \right),$$

d'où on tire

$$V = 0^m.c,064;$$

et V' étant le volume de vapeur après la détente, c'est-à-dire le volume total engendré par le piston, on a

$$V' = 0^m.c,064 \times 5 = 0^m.c,32.$$

Supposant la vitesse du piston égale à $1^m,30$ par seconde, on a

$$\frac{\pi d^2}{4} \times 1^m,30 = 0^m,32,$$

d'où on tire le diamètre du piston $d = 0^m,56$.

Pour une machine à deux cylindres on opérerait de la même manière; seulement, dans l'équation précédente, d représenterait le diamètre du grand cylindre. Ayant d , le diamètre d' du petit cy-

lindre se déterminerait à l'aide de la formule $\frac{z}{z_0} d'^2 = d^2$; ainsi, pour $\frac{z_0}{z} = 5$, c'est-à-dire pour une détente au $1/5$ (278), on aura $5d'^2 = d^2$, d'où on tirerait

$$d' = \frac{d}{\sqrt{5}} = 0,447d.$$

Le volume de vapeur, à la pression h , dépensé par heure, est

$$0^m,064 \times 3600 = 230,40 \text{ mètres cubes.}$$

La densité de la vapeur à 3 atmosphères étant 0,00161453 (202), le poids de vapeur dépensé par heure est

$$1,61453 \times 230,40 = 372 \text{ kilog.}$$

Augmentant cette dépense de $1/8$ pour compenser les pertes et le refroidissement, elle devient 418 kil.; pour de petites machines la fraction $1/8$ serait un peu faible.

Un kilogramme de houille produisant 6 kilog. de vapeur, on en brûlera, pour obtenir la force de 40 chevaux, $\frac{418}{6} = 69,7$ kil., c'est-à-dire $1^k,74$ par force de cheval et par heure. En pratique, il faut compter sur $2^k,5$ à 3 kilog. pour les machines à un cylindre en bonne marche, et sur $3^k,0$ à $3^k,5$ pour les machines à 2 cylindres. En soignant très-bien les machines, ces consommations peuvent encore diminuer sensiblement; dans le Cornouailles, on est arrivé, pour des machines d'épuisement communiquant le mouvement aux pompes sans arbre de rotation, à ne brûler qu'un kilog. de houille par force de cheval et par heure.

En supposant que chaque mètre carré de surface de chauffe produise seulement 20 kilog. de vapeur à l'heure, pour la force de 40 chevaux, cette surface sera de $\frac{418}{20} = 20^m,90$, ce qui fait $0^m,52$ par force de cheval. Mais il ne convient guère, en pratique, de prendre moins de $0^m,80$ de surface de chauffe par force de cheval, surtout pour les machines faibles.

Le volume du condenseur est le même que pour les machines sans détente (284), c'est-à-dire, le $1/8$ de celui du cylindre à vapeur; le volume de la pompe à air est aussi égal à celui du condenseur. L'expérience prouve que la pompe à eau froide doit élever 600 litres d'eau, par force de cheval et par heure.

290. *Emploi des vapeurs, autres que la vapeur d'eau, comme force motrice.* Connaissant la température d'ébullition d'une substance (199 et 208), sa chaleur spécifique (196), sa chaleur latente de vaporisation (198) et la densité de sa vapeur (28), on peut déterminer la quantité de chaleur absorbée pour former un volume de vapeur, et par suite déterminer, sous le rapport du combustible brûlé, l'avantage qu'offrirait l'emploi de sa vapeur comme force motrice (277).

TABLEAU de quelques substances dont les vapeurs sont susceptibles d'être employées comme force motrice.

DÉSIGNATION des substances.	TEMPÉRA- TURE d'ébullition.	DENSITÉ de la substance.	CHALEUR spécifique.	DENSITÉ de la vapeur (n° 28).	CHALEUR latente.
Eau	100°0	1.000	1.000	0.624	550.0
Alcool	78.4	0.792	0.622	1.613	207.0
Éther sulfurique. . . .	37.8	0.7155	0.520	2.586	96.8
Essence de térébenthine	157.0	0.8697	0.472	5.013	76.8
Sulfure de carbone. . .	47.0	1.263	"	2.645	"
Ammoniaque.	à 10°, pression 6.5 atmosph.			0.597	"
Acide carbonique . . .	à 0°,	id. 36	id.	1.524	tr.-grande
	à 11°,	id. 20	id.		

Jusqu'à présent on n'a employé avec succès que la vapeur d'eau.

291. *Notions sur le prix des machines à vapeur.* A Paris, les machines que l'on construit le plus sont à haute pression, à détente sans condensation; leur prix, pour des forces qui ne dépassent pas 20 chevaux, est de 1000 fr. par cheval, plus 3000 à 4000 fr. par machine; de sorte que n étant la force de la machine en chevaux, son prix est de 1000 ($n + 3$) fr. ou 1000 ($n + 4$) fr.

Dans ce prix se trouve compris la chaudière, mais non celle de rechange, et un bout de tuyau de 5 mètres de longueur. Le mécanicien ne fournit que le monteur pour la pose de la machine; tous les autres frais de montage sont à la charge du propriétaire.

Au-dessus de la force de 20 chevaux, il n'y a pas de prix courant.

Il n'y a pas de prix courant pour les machines à condensation; elles sont plus chères que les autres, quoique, à force égale de machine, la chaudière soit moins coûteuse.

Il y a peu d'années, le prix des machines à vapeur, y compris les chaudières, la pompe alimentaire, le condenseur et généralement tous les accessoires indispensables, mais non les frais de pose, qui ne s'élèvent pas à moins de 1000 fr. pour une machine de force moyenne (le monteur seul est au compte du mécanicien), était réglé comme l'indique le tableau suivant.

FORCE DE LA MACHINE en chevaux.	PRIX DES MACHINES			
	fixes.		de bateaux.	
	fr.	fr.	fr.	fr.
2.	6 000 à	7 000		
4.	9 000 à	10 000		
6.	11 000 à	13 000		
8.	12 000 à	16 000		24 000
10.	14 000 à	20 000	27 000 à	30 000
12.	16 000 à	23 000	30 000 à	35 000
16.	20 000 à	29 000	33 000 à	40 000
20.	24 000 à	35 000	35 000 à	45 000
30.	32 000 à	48 000	40 000 à	55 000
40.	40 000 à	62 000	54 000 à	63 000
50.	48 000 à	72 000	66 000 à	84 000
100.	100 000 à	160 000	80 000 à	92 000

En Alsace et à Rouen le prix des machines à deux cylindres varie de 1800 à 2000 fr. par cheval.

Des recherches de M. Chabrol ont appris que le poids moyen des machines fabriquées en France, de 1800 à 1825, était de 1460 kilogrammes par force de cheval; un seul constructeur avait pu le réduire à 1000 kil. Aujourd'hui, dans les meilleures constructions, ce poids s'élève à 700 ou 800 kilog., non compris une constante de 1500 à 2000 kilog. qui se répartit sur toute la machine. Pour les locomotives, marchant à leur maximum d'effet, ce poids, y compris le tender, n'excède pas 500 kilog. par force de cheval développée.

Prix, à Paris, de l'achat et de la pose d'une machine à vapeur de la force de 12 chevaux, à détente sans condensation, et de tous ses accessoires.

Achat de la machine et de sa chaudière.	16 000 fr.
Pose.	1 000
Fourneau et cheminée de 20 mètres de hauteur, en briques.	2 600
Fondation de la machine et de la cheminée, et mur de défense de 1 mètre d'épaisseur (246).	2 000 à 8 000 fr.
Achat d'une deuxième chaudière et des accessoires (portes, grilles, armatures...) du fourneau.	4 000 à 5 000
Construction du fourneau de la deuxième chaudière.	1 200
Total.	26 800 au minimum.

Si la machine était à condensation, cette dépense serait à peu près de 6000 fr. plus élevée.

BATEAUX A VAPEUR.

292. *Force d'impulsion.* La force nécessaire pour faire avancer un bateau dans une eau tranquille d'un espace indéfini, est

$$F = K \frac{AV^3}{2g}$$

F force qui sollicite le bateau dans la direction du mouvement, en unités de 1 000 kilog. ;

- A** Maitre-couple (plus grande section transversale de la partie plongée du bateau), en mètres carrés;
V vitesse du bateau, en mètres par seconde;
K coefficient très-variable dépendant de la forme du bateau;

$K = 1,10$ quand le bateau est un prisme rectangulaire droit dont la longueur est égale à 5 ou 6 fois la largeur.

$K = 1$ quand la proue (avant du bateau) est disposée comme dans le cas précédent, et que la poupe (arrière du bateau) est formée de deux plans verticaux inclinés à 45° avec l'axe du bateau. Dans les applications aux bateaux ordinaires, on peut supposer, sans risque d'erreur sensible, que la diminution de K , due à la poupe, est égale à $1/10$ environ de la valeur de $1,10$ qui convient au prisme.

Si on suppose que les plans verticaux inclinés soient placés sur la proue du bateau prismatique, au lieu de l'être sur la poupe, comme dans le cas précédent, les angles de ces plans avec l'axe du bateau étant successivement :

$90^\circ, 78^\circ, 66^\circ, 54^\circ, 42^\circ, 30^\circ, 18^\circ, 6^\circ,$

les valeurs respectives de K sont :

$1,10, 1,05, 0,93, 0,76, 0,60, 0,48, 0,46, 0,44.$

En ajoutant une poupe, les valeurs précédentes de K diminuent de $1/10$ de $1,10$, et elles deviennent respectivement :

$1,00, 0,94, 0,82, 0,65, 0,49, 0,37, 0,35, 0,33.$

Une proue cylindrique à axe vertical réduit la valeur $1,10$ de K à $1,10 \times \frac{13}{25} = 0,57$. En ajoutant une poupe on a $K = 0,46$.

Si la proue est formée par les prolongements des faces latérales du prisme, et limitée en dessous par un plan incliné à 43° avec l'horizon, on a $K = 1,10 \times 0,55 = 0,605$; quand le plan est incliné à $25^\circ, 26'$ à l'horizon, on a $K = 1,10 \times 0,43 = 0,473$. En ajoutant une poupe on aurait donc respectivement, pour les deux proues précédentes, $K = 0,495$ et $K = 0,363$.

Pour les grands vaisseaux, on est arrivé à réduire K à $0,22$ ou $0,24$.

Pour les bateaux à vapeur, à formes arrondies en tous sens, qu'on

leur donnait depuis quelques années, K varie de $0,16$ à $0,18$; en Amérique on est même arrivé à avoir $K = 0,12$.

Dans des essais récents, il paraîtrait que l'on est arrivé à réduire la valeur de K à $0,05$ et même $0,045$.

Les valeurs de K augmentent quand le bateau se meut dans un espace limité, tel qu'un canal.

293. *Travail moteur absorbé par la marche d'un bateau en une seconde.* Ce travail étant représenté par T_u , on a

$$T_u = FV = K \frac{AV^3}{2g}.$$

V étant l'espace parcouru par la puissance F en une seconde. Les mêmes lettres ont les mêmes significations qu'au n° 202.

Cette formule fait voir que, pour un temps donné, le travail moteur dépensé est proportionnel au cube de la vitesse du bateau; mais l'expérience prouve que ce n'est que pour des vitesses qui ne dépassent pas 4 mètres par secondes; au-dessus de cette limite, des expériences prouvent que le travail croît dans un rapport inférieur à celui du cube de la vitesse, ou que la puissance F croît dans un rapport inférieur à celui du carré de la vitesse.

Pour un espace parcouru E , le travail dépensé par le moteur est

$$T_u = FE = K \frac{AV^3}{2g} E;$$

formule qui fait voir que, pour un même espace parcouru, le travail dépensé est proportionnel au carré de la vitesse du bateau.

294. *Impulsion au moyen de roues à palettes.* Représentant par F' la résistance que l'eau oppose au mouvement des palettes, on a

$$F' = K' \frac{aV}{2g} (v - V).$$

- a section des roues à palettes ou, plutôt, surface d'une aube, s'il n'y a qu'une roue, et surface de deux aubes, s'il y a deux roues;
V vitesse du bateau;
v vitesse de rotation du centre de gravité des palettes;
 $(v - V)$ vitesse avec laquelle les palettes frappent l'eau;
K' coefficient dont la valeur varie de 1 à $1,2$, mais qui est généralement égal à 1 .

Quand le mouvement du bateau est arrivé à l'uniformité,

résistance que l'eau oppose au mouvement des roues est égale à celle qu'elle oppose au mouvement du bateau ; on a donc (292)

$$F = F' \quad \text{ou} \quad K \frac{AV^2}{2g} = K' \frac{aV}{2g} (v - V);$$

d'où on tire

$$V = \frac{K' av}{K'a + KA}, \quad \text{ou} \quad v = \frac{V(K'a + KA)}{K'a}; \quad (1)$$

formule qui fait voir que la vitesse V du bateau est proportionnelle à la vitesse de rotation v des palettes ; et que si la section a des palettes est très-grande par rapport au maître-couple A , on a $V = v$, mais que dans le cas contraire, comme cela a toujours lieu en pratique, on a $V < v$.

295. *Travail moteur absorbé par seconde pour communiquer la vitesse relative aux palettes.* En représentant ce travail par T_p , comme $v - V$ est l'espace parcouru par la résistance F' en une seconde, on a

$$T_p = F'(v - V) = K' \frac{aV}{2g} (v - V)(v - V) = K' \frac{aV}{2g} (v - V)^2.$$

296. *Force de la machine d'un bateau recevant son impulsion au moyen de roues à palettes.* Le travail moteur T_m produit par cette machine en une seconde, est égal au travail T_u absorbé par la résistance que le bateau éprouve à avancer (293), et qui est le travail utile, plus le travail T_p absorbé par la résistance que les roues éprouvent à se mouvoir (295), et qui est le travail perdu ; on a donc

$$T_m = T_u + T_p = K \frac{AV^2}{2g} + K' \frac{aV}{2g} (v - V)^2,$$

ou, en remplaçant v par sa valeur (1), n° 294, et en transformant,

$$T_m = \frac{V^3}{2g} KA \left(1 + \frac{KA}{K'a} \right).$$

Cette formule est d'accord avec la pratique et donne exactement la force de la machine pour des vitesses V qui ne dépassent pas 4^m,00 par seconde ; au-dessus de cette limite, la force de la machine est moindre que celle donnée par la formule.

297. *Rapport du travail utile au travail perdu.* Ce rapport est

$$\frac{T_u}{T_p} = \frac{FV}{F'(v - V)} = \frac{V}{(v - V)}. \quad (293 \text{ et } 294)$$

expression qui fait voir que ce rapport est d'autant plus grand que $v - V$ est plus petit, c'est-à-dire que la vitesse du bateau diffère moins de celle des palettes, et qu'il serait infini, c'est-à-dire que le travail perdu serait nul, si les palettes ne pénétraient pas dans l'eau, car alors on aurait $v - V = 0$.

On a

$$F = F', \quad \text{ou} \quad K \frac{AV^2}{2g} = K' \frac{aV}{2g} (v - V), \quad (294)$$

d'où l'on tire

$$\frac{V}{v - V} = \frac{K'a}{KA}.$$

On a donc aussi

$$\frac{T_u}{T_p} = \frac{K'}{K} \times \frac{a}{A};$$

expression qui fait voir que le rapport du travail utile au travail perdu est d'autant plus grand, que la section a des palettes est plus grande par rapport au maître-couple A .

Pour les bateaux voyageant sur mer, le rapport du maître-couple à la section des palettes varie, d'après M. Champaignac, de 4,5 à 7, suivant que la force de la machine varie de 12 à 220 chevaux, et il est moyennement de 6,75 pour les bateaux de 80 à 200 chevaux. Sur les cours d'eau, ce rapport varie ordinairement de 3,5 à 4, et il est encore moindre pour les petits bateaux de rivière.

Sur la haute Seine, le tirant d'eau des bateaux à vide, c'est-à-dire la profondeur à laquelle ils plongent, varie de 0^m,27 à 0^m,30 ; sur la Loire et la Moselle, il est de 0^m,22 seulement. Pour des bateaux de 40 chevaux environ, le tirant d'eau varie de 0^m,40 à 0^m,50.

Supposant $a = 1$, $A = 4$, $K' = 1$ et $K = 0,17$, on a

$$\frac{T_p}{T_u} = \frac{4 \times 0,17}{1 \times 1} = 0,68,$$

et

$$\frac{T_m}{T_u} = \frac{1 + 0,68}{1} = 1,68;$$

ce qui fait voir que le travail utile T_u étant représenté par 1, le travail perdu T_p l'est par 0,68, et le travail T_m par 1,68.

M. Colladon, dans des expériences faites à Genève, a trouvé que le travail perdu était les 0^m,33 du travail moteur pour un bateau, et les 0,31 pour un autre; c'est un peu moins que ne l'indiquent les rapports précédents.

298. *Calcul de la force d'une machine de bateau.* Supposons que l'on a $V = 3^m,25$, $K = 0,17$, $K' = 1$ et $\Lambda = 4a$.

Remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule

$$T_m = \frac{V^3}{2g} KA \left(1 + \frac{KA}{K'a} \right), \quad (296)$$

on a

$$T_m = \frac{34,33 \times 0,17}{19,62} \times \Lambda (1 + 0,68) = 0,5\Lambda.$$

Si on suppose $\Lambda = 1^m,00$, on aura $T_m = 0,5$ de grande unité dynamique ou

$$T_m = \frac{0,500}{0,075} = 6,67 \text{ chevaux-vapeur.}$$

Ainsi, chaque mètre carré de section du maître-couple exige 6,67 chevaux de force; ce qui donne, pour un bateau de petite navigation, de 450 tonneaux et de 24 mètres carrés de maître-couple,

$$T_m = 6,67 \times 24 = 160 \text{ chevaux.}$$

Avant la construction de 14 bateaux de 450 chevaux que vient de faire exécuter le gouvernement français, on n'avait encore construit en France que des bateaux de 250 chevaux au maximum; en Angleterre, on avait déjà atteint 600 chevaux, et en Amérique 700 à 800 chevaux.

Exemples de grands bâtiments à vapeur. Extrait du *Journal de l'industriel et du capitaliste*, année 1838.

LE DIAMANT, voyageant sur l'Hudson, entre New-York et Albany, a 260 pieds anglais (79 mètres) de longueur, ce qui dépasse la longueur d'un vaisseau de ligne. Un vaisseau de 120 n'a que 64 mètres de tête en tête et 57 mètres de quille. Le Diamant est destiné aux voyages de nuit; sa vitesse est de 5 lieues à l'heure.

LE GREAT-WESTERN, deuxième navire à vapeur qui, en 1838,

a fait le voyage d'Angleterre en Amérique (de Bristol à New-York), est de la contenance de 1604 tonneaux; sa force est de 450 chevaux pour deux machines; ses quatre chaudières pèsent 180 tonneaux, et elles sont entourées d'une chambre contenant 900 tonnes de charbon, ce qui suffit pour vingt-cinq jours de marche. Tout l'appareil mécanique pèse 470 tonnes. Le tirant d'eau est de 5^m,38. La longueur du bateau est de 240 pieds, et la largeur de 58 pieds, y compris les roues qui ont 38 pieds de diamètre. Le salon, richement décoré par Parris, a 82 pieds de long sur 34 pieds de large; il y a, en outre, d'autres pièces (chambres, chapelle, salle de conseil); le bateau porte 150 lits réservés aux passagers, et il reste encore un emplacement pour plus de 200 tonneaux de marchandises. En 1839 il a transporté dans ses voyages 1033 passagers, 1214 tonneaux de marchandises, 96 587 lettres et 19 571 journaux. La durée du trajet de Bristol à New-York est de 16 jours, et le retour est de 13 jours 1/2. La vitesse moyenne de marche est de 5,25 lieues à l'heure.

LA VICTORIA, plus long de 35 pieds que le plus fort vaisseau de la marine royale, a 275 pieds de la poupe à la proue; sa force est de 500 chevaux; il est du port de 1863 tonneaux; il peut recevoir 500 passagers et 1000 tonnes de marchandises; sa construction a coûté 2 millions et 1/2.

LA REINE DE L'EST, naviguant entre l'Angleterre et l'Inde, est du tonnage de 2618 tonneaux; son tirant d'eau n'est que de 15 pieds; sa force est de 600 chevaux; sa longueur, de tête en tête, est de 310 pieds et de 282 pieds sur le pont. La longueur de la principale chambre est de 128 pieds. On y trouve 16 chambres contenant 400 lits pour les passagers. Tout le reste est en proportion.

LA SOPHIE, naviguant sur le Danube, a 152 pieds de long sur 20 pieds de large; il a été construit à Zurich.

299. La consommation en charbon des machines de bateau est très-variable; ainsi elle s'élève à 5 et jusqu'à 10 kilog. de houille par force de cheval et par heure, pour les machines à basse pression sans détente; tandis qu'on a construit des machines à moyenne pression et à détente, ne brûlant que 4 kilog. de houille; on est même arrivé à n'en brûler que 2^k,80. D'après M. Champaignac, les forces en chevaux des bateaux étant successivement :

50 80 100 120 140 160 180 200 250 300 350 400 450 500

le poids en kilogrammes du charbon brûlé, par force de cheval et par heure, est, respectivement, pour des machines à basse pression à condensation détendant aux $\frac{7}{10}$ de la course du piston, telles que les construisent MM. Maudslay et Field,

5,000 4,500 4,340 4,185 4,030 3,870 3,710 3,555 3,385 3,280 3,150 2,985 2,820 2,655,

et la surface de chauffe, en mètres carrés et par cheval, est de

1,200 1,080 1,040 1,000 0,965 0,925 0,890 0,850 0,810 0,785 0,755 0,715 0,675 0,630.

300. *Travail moteur nécessaire pour faire remonter ou redescendre une rivière par un bateau.* L'expression de ce travail est analogue à celle donnée pour une eau tranquille (296); ainsi on a, quand le bateau remonte,

$$T_m = \frac{(V+u)^2}{2g} KA \left(1 + \frac{KA}{K'a} \right).$$

u vitesse de l'eau par seconde;

Les autres lettres ont les mêmes significations qu'aux n^{os} 292 et 294;

$(V+u)$ vitesse relative du bateau par rapport à l'eau.

Quand le bateau descend, l'expression de ce travail devient

$$T_m = \frac{(V-u)^2}{2g} KA \left(1 + \frac{KA}{K'a} \right).$$

$(V-u)$ vitesse relative du bateau par rapport à l'eau.

301. *Bateau sur un canal.* Comme la section d'un canal est assez faible, l'espace occupé par le bateau la diminue sensiblement, ce qui augmente la vitesse relative de l'eau de chaque côté du bateau, et par suite le travail moteur (300). Afin que la vitesse du bateau ne soit pas diminuée par ce surcroît de vitesse relative, on augmente un peu la vitesse des roues à palettes.

302. *Vitesse des bateaux à vapeur.* En Amérique, des bateaux ont atteint une vitesse de 6^m,65 par seconde; un bateau construit en Angleterre a encore donné une vitesse plus grande; en France on n'a pas dépassé 6 mètres. Aux vitesses qui approchent de ces limites, la force de la machine est considérable pour une très-faible charge; aussi, la marche ordinaire sur un cours d'eau est-elle de 3 à 4 mètres par seconde. On estime qu'en mer, en faisant simultanément usage des voiles et de la vapeur, on peut moyennement accélérer la vitesse due à la vapeur de 0^m,50 environ par seconde.

303. *Poids des machines de bateau.* Sur rivières, ce poids varie

de 1200 à 1400 kil. par force de cheval, roues à palettes, chaudière et eau qu'elle contient comprises (le combustible n'est pas compris), pour les machines à basse pression sans détente. Pour les machines à haute et à moyenne pression, ce poids n'est que de 800 kil.

Pour la même force, les machines sont plus légères sur rivières que sur mer.

Poids des différentes parties des machines et chaudières de l'Érèbe (Maudslay), et du Sphinx (Fawcett).

DÉTAILS.	ÉRÈBE		SPHINX	
	pour 60 chevaux.	pour 1 cheval.	pour 160 chevaux.	pour 1 cheval.
Organes des machines (cylindres à vapeur, tiroirs, appareils de condensation et d'alimentation, pompes d'épuisement, boulons d'assemblage, tuyaux d'alimentation, d'évacuation et de condensation).	k 9528.10	k 158.80	k 34701	k 216.88
Charpente des machines (toutes les parties fixes).	4389.00	73.15	21667	135.42
Mécanisme proprement dit (toutes les parties mobiles, non compris les arbres de transmission et leurs manivelles).	3921.50	65.36	13730	85.81
Transmission de mouvement (arbre intermédiaire avec ses manivelles, arbres des roues avec tout ce qu'ils portent, roues à palettes).	5354.10	89.23	28004	175.02
Appareil évaporatoire (valves régulatrices, tuyau d'arrivée de vapeur, corps de chaudières, cheminée, foyers, soupapes, robinets, flotteurs, tuyaux d'évacuation des soupapes d'arrêt, prises d'eau, tuyaux pour remplir et vider les chaudières, pompe à bras, soutes à charbon en tôle).	19318.00	321.97	56828	355.17
Accessoires (parquets, entourage ou garde-corps des machines, garnitures pour trous-d'homme, cercle et haubans de cheminée, escalier pour descendre aux machines. . .	1225.50	20.42	5747	35.92
Total.	43736.20	728.93	160677	1004.23

Poids total d'appareils à vapeur marins complets, pour divers bâtiments.

NOMS DES BÂTIMENTS.							
Var.	Liamone.	Érèbe.	Marseillais.	Sphinx.	Tancredè.	Eurotas.	Pluton.
NOMS DES CONSTRUCTEURS.							
Fawcett.	Maudslay.	Maudslay.	Fawcett.	Fawcett.	Miller.	Maudslay.	Schneider.
Forces des machines en chevaux.							
50	50	60	80	160	160	160	220
Poids total des machines et chaudières vides.							
48 000 ^k	38 000 ^k	43 500 ^k	72 000 ^k	160 000 ^k	140 000 ^k	128 000 ^k	220 000 ^k
Poids par force de cheval.							
960	760	725	900	1000	875	800	1000

304. *Proportions des bateaux.* Sur rivières, la longueur des bateaux doit être aussi grande que possible, afin de diminuer le maître-couple ; ordinairement elle est égale à onze ou douze fois la largeur. Le rapport de la longueur à la largeur mesurées à la flottaison, varie de $3 \frac{2}{3}$ à $3 \frac{3}{4}$ pour les vaisseaux et frégates à voiles ; il est de 6 à 7 pour les galères, et M. Champaignac croit convenable de faire varier ce rapport entre 5 et 6 pour les bâtiments à vapeur.

La distance des roues à palettes à l'avant du bateau, est ordinairement égale aux $\frac{2}{5}$ de la longueur totale du bateau ; cependant, en Angleterre, dans beaucoup de bateaux, les roues sont placées au milieu de la longueur, et dans quelques bateaux il n'y a qu'une roue placée tout à fait à l'arrière.

On vient de remplacer avec succès les roues à palettes par la roue à hélice imaginée par M. Sauvage. Cette hélice est placée à l'arrière du bateau.

Il n'y a pas de règle fixe pour déterminer le diamètre des roues à palettes ; on le prend le plus grand possible, en le combinant avec la vitesse de la machine, et de manière que le centre des palettes ait la vitesse calculée convenable pour imprimer le mouvement voulu au bateau. En Angleterre et en France, il est ordinairement égal à quatre fois la course du piston ; en Amérique, la course du

piston est plus grande et le rapport du diamètre des roues à cette course est moindre.

Les palettes sont noyées de 0^m,06 à 0^m,10 dans l'eau, et leur nombre est tel, qu'une palette plongeant verticalement, la palette qui la précède sort de l'eau et celle qui lui succède y entre ; cependant, afin d'éviter les secousses, le nombre des palettes dépasse celui qu'exigerait cette condition. En mer, l'écartement des palettes, mesuré sur la circonférence extérieure, varie généralement de 0^m,91 à 1^m,22.

TABLEAU des dimensions des principales parties des bateaux à vapeur de la compagnie des Aigles, construits à la Seyne, près Toulon (Machines de MM. Miller et Ravenhill, de Londres).

NOM DU BATEAU	AIGLE-de-la-Mer.	AIGLE-du-Rhône.	AIGLE-du-Rhône.	AIGLE-do-la-Saône.	
DESTINATION	Marseille et Arles.	Arles et Lyon.	Arles et Lyon.	Lyon et Châlon.	
FORCE en chevaux pour les deux machines.	80	80	56	40	
Longueur totale sur le pont . . .	51 ^m ,814	60 ^m ,958	60 ^m ,958	51 ^m ,814	
Largeur de dehors en dehors . . .	6 ^m ,096	6 ^m ,096	5 ^m ,486	4 ^m ,877	
Hauteur du pont au-dessus de la plate-forme inférieure du navire.	3 ^m ,048	2 ^m ,616	2 ^m ,235	2 ^m ,235	
..	Lège (avec machines et charbon)	0 ^m ,610	0 ^m ,508	0 ^m ,406	
..					En charge (avec passagers ou marchandises). . . . .	1^{m},219	0^{m},660	0^{m},610	0^{m},533
Tirant d'eau	0 ^m ,940	0 ^m ,940	0 ^m ,80	0 ^m ,711	
Diamètre des cylindres à vapeur . .	0 ^m ,914	0 ^m ,914	0 ^m ,762	0 ^m ,610	
Course des pistons	0 ^m ,914	0 ^m ,914	0 ^m ,762	0 ^m ,610	
Pression absolue de la vapeur dans la chaudière, en atmosphères . .	1 ^m ,333	1 ^m ,455	1 ^m ,455	1 ^m ,455	
Nombre de coups de pistons par minute, à la vitesse de régime . .	30	30	34	40	
Diamètre des roues en dehors des aubes	4 ^m ,572	4 ^m ,267	4 ^m ,115	3 ^m ,810	
Longueur des aubes	2 ^m ,133	2 ^m ,286	2 ^m ,057	1 ^m ,829	
Hauteur ou largeur des aubes . . .	0 ^m ,457	0 ^m ,406	0 ^m ,381	0 ^m ,279	
Nombre d'aubes	14	14	12	12	

TABLEAU des dimensions des principales parties de quelques bâtiments à vapeur. (Extrait de l'ouvrage de M. Champagnac.)

NOM DU BÂTIMENT.	Érèbe.		Mar-sellaiss.		Eurotas.		Sphinx.		Fancrède.		Véloce.		Corresp. d'Alexan.		Trans-atlantique.			
	Marine royale.	Marsaille à Agde.	Marseille à Agde.	Marsaille à Agde.	Postes royales.	Marine royale.	Postes royales.	Marine royale.	Postes royales.	Marine royale.	Postes royales.	Marine royale.	Postes royales.	Marine royale.	Postes royales.	Marine royale.	Postes royales.	
NOM DU CONSTRUCTEUR, ou système de construction de l'appareil.	Maudslay.	Fawcett.	Maudslay.	Maudslay.	Postes royales.	Fawcett.	Postes royales.	Fawcett.	Postes royales.	Marine royale.	Postes royales.	Marine royale.	Postes royales.	Miller.	Fawcett.	Miller.	Schneider	
Forcé en chevaux pour les deux machines.	60	80	160	160	160	160	160	160	160	220	220	220	220	220	220	220	450	
Cylindres à vapeur.	0 ^m .816	0 ^m .914	4 ^m .221	4 ^m .221	4 ^m .221	4 ^m .221	4 ^m .221	4 ^m .221	4 ^m .221	4 ^m .231	4 ^m .231	4 ^m .231	4 ^m .231	4 ^m .231	4 ^m .231	4 ^m .231	4 ^m .930	
Pompes à air.	0 ^m .014	1 ^m .067	1 ^m .372	1 ^m .372	1 ^m .372	1 ^m .372	1 ^m .448	1 ^m .448	1 ^m .372	1 ^m .676	1 ^m .676	1 ^m .676	1 ^m .676	1 ^m .676	1 ^m .676	1 ^m .676	2 ^m .280	
Pompes ali-	0 ^m .690	0 ^m .774	0 ^m .960	0 ^m .960	0 ^m .960	0 ^m .960	0 ^m .715	0 ^m .715	0 ^m .674	0 ^m .237	0 ^m .237	0 ^m .237	0 ^m .237	0 ^m .237	0 ^m .237	0 ^m .237	2 ^m .082	
mentaires.	0 ^m .460	0 ^m .510	0 ^m .710	0 ^m .710	0 ^m .710	0 ^m .710	0 ^m .686	0 ^m .686	0 ^m .686	0 ^m .813	0 ^m .813	0 ^m .813	0 ^m .813	0 ^m .813	0 ^m .813	0 ^m .813	1 ^m .140	
Diamètre de l'ouvert, donnant entrée à la vapeur dans l'enveloppe du cylind., ou dans la boîte à soupape d'expansion variable pour les 450.	0 ^m .657	0 ^m .533	0 ^m .686	0 ^m .686	0 ^m .686	0 ^m .686	0 ^m .686	0 ^m .686	0 ^m .686	0 ^m .838	0 ^m .838	0 ^m .838	0 ^m .838	0 ^m .838	0 ^m .838	0 ^m .838	1 ^m .140	
Course des tiroirs.	0 ^m .089	0 ^m .088	0 ^m .145	0 ^m .145	0 ^m .145	0 ^m .145	0 ^m .140	0 ^m .140	0 ^m .133	0 ^m .152	0 ^m .152	0 ^m .152	0 ^m .152	0 ^m .152	0 ^m .152	0 ^m .152	0 ^m .200	
Course des tiroirs.	0 ^m .457	0 ^m .533	0 ^m .686	0 ^m .686	0 ^m .686	0 ^m .686	0 ^m .724	0 ^m .724	0 ^m .686	0 ^m .838	0 ^m .838	0 ^m .838	0 ^m .838	0 ^m .838	0 ^m .838	0 ^m .838	1 ^m .140	
Course des tiroirs.	5453	5284	45848	45848	45848	45848	44705	44705	48248	48248	48248	48248	48248	48248	48248	48248	35098	
Course des tiroirs.	32	27 1/7	23 1/3	23 1/3	23 1/3	23 1/3	22	22	23 1/3	20	20	20	20	20	20	20	16 1/3	
Course des tiroirs.	0 ^m .471	0 ^m .466	0 ^m .144	0 ^m .144	0 ^m .144	0 ^m .144	0 ^m .250	0 ^m .250	0 ^m .268	0 ^m .260	0 ^m .260	0 ^m .260	0 ^m .260	0 ^m .260	0 ^m .260	0 ^m .260	0 ^m .380	
Course des tiroirs.	0 ^m .273	0 ^m .150	0 ^m .155	0 ^m .155	0 ^m .155	0 ^m .155	0 ^m .128	0 ^m .128	0 ^m .128	0 ^m .250	0 ^m .250	0 ^m .250	0 ^m .250	0 ^m .250	0 ^m .250	0 ^m .250	0 ^m .320	
Course des tiroirs.	0 ^m .400	0 ^m .390	0 ^m .470	0 ^m .470	0 ^m .470	0 ^m .470	0 ^m .455	0 ^m .455	0 ^m .455	0 ^m .510	0 ^m .510	0 ^m .510	0 ^m .510	0 ^m .510	0 ^m .510	0 ^m .510	0 ^m .560	
Course des tiroirs.	0 ^m .295	0 ^m .065	0 ^m .071	0 ^m .071	0 ^m .071	0 ^m .071	0 ^m .103	0 ^m .103	0 ^m .097	0 ^m .120	0 ^m .120	0 ^m .120	0 ^m .120	0 ^m .120	0 ^m .120	0 ^m .120	0 ^m .200	
Course des tiroirs.	0 ^m .065	0 ^m .130	0 ^m .230	0 ^m .230	0 ^m .230	0 ^m .230	0 ^m .156	0 ^m .156	0 ^m .156	0 ^m .203	0 ^m .203	0 ^m .203	0 ^m .203	0 ^m .203	0 ^m .203	0 ^m .203	0 ^m .200	
Course des tiroirs.	3 ^m .790	4 ^m .579	5 ^m .961	5 ^m .961	5 ^m .961	5 ^m .961	6 ^m .040	6 ^m .040	6 ^m .040	6 ^m .885	6 ^m .885	6 ^m .885	6 ^m .885	6 ^m .885	6 ^m .885	6 ^m .885	9 ^m .260	
Course des tiroirs.	3 ^m .657	4 ^m .419	5 ^m .791	5 ^m .791	5 ^m .791	5 ^m .791	5 ^m .943	5 ^m .943	5 ^m .844	6 ^m .705	6 ^m .705	6 ^m .705	6 ^m .705	6 ^m .705	6 ^m .705	6 ^m .705	9 ^m .000	
Course des tiroirs.	2 ^m .857	3 ^m .505	4 ^m .571	4 ^m .571	4 ^m .571	4 ^m .571	4 ^m .614	4 ^m .614	4 ^m .614	5 ^m .485	5 ^m .485	5 ^m .485	5 ^m .485	5 ^m .485	5 ^m .485	5 ^m .485	7 ^m .600	
Course des tiroirs.	40	43	44	44	44	44	46	46	48	48	48	48	48	48	48	48	24	
Course des tiroirs.	4 ^m .880	4 ^m .981	5 ^m .438	5 ^m .438	5 ^m .438	5 ^m .438	5 ^m .660	5 ^m .660	5 ^m .660	6 ^m .743	6 ^m .743	6 ^m .743	6 ^m .743	6 ^m .743	6 ^m .743	6 ^m .743	3 ^m .000	
Course des tiroirs.	0 ^m .400	0 ^m .457	0 ^m .610	0 ^m .610	0 ^m .610	0 ^m .610	0 ^m .615	0 ^m .615	0 ^m .615	0 ^m .700	0 ^m .700	0 ^m .700	0 ^m .700	0 ^m .700	0 ^m .700	0 ^m .700	0 ^m .800	
Course des tiroirs.	0 ^m .732	0 ^m .905	1 ^m .487	1 ^m .487	1 ^m .487	1 ^m .487	1 ^m .609	1 ^m .609	1 ^m .636	1 ^m .610	1 ^m .610	1 ^m .610	1 ^m .610	1 ^m .610	1 ^m .610	1 ^m .610	2 ^m .400	
Course des tiroirs.																		

305. TABLEAU des dimensions des différentes parties des générateurs de quelques bateaux. A l'exception du Sphinx, qui a été construit par M. Fawcett, et du Transatlantique, qui sort de l'usine d'Arras, tous les autres sont de MM. Maudslay et Field.

	NOMS DES BATEAUX.												Trans-atlantique.	
	Saint-Pierre.	Liamone.	Rapide.	Castor.	Sphinx.	Enrolas.	Ténare.	Medea.	Medea.	Ténare.	Medea.	Medea.	Trans-atlantique.	Trans-atlantique.
Force en chevaux.	12	50	80	120	160	160	160	160	160	180	220	220	450	450
Longueur de la chaudière.	2 ^m .74	3 ^m .165	5 ^m .680	6 ^m .420	6 ^m .400	6 ^m .650	6 ^m .590	6 ^m .590	6 ^m .590	6 ^m .590	7 ^m .130	7 ^m .130	12 ^m .000	12 ^m .000
Largeur de la chaudière.	2 ^m .080	4 ^m .06	3 ^m .735	4 ^m .71	5 ^m .975	5 ^m .040	5 ^m .540	5 ^m .540	5 ^m .540	5 ^m .540	6 ^m .260	6 ^m .260	7 ^m .50	7 ^m .50
Hauteur de la chaudière au milieu, non compris le coffre à vapeur.	1 ^m .600	2 ^m .430	2 ^m .400	2 ^m .760	2 ^m .890	2 ^m .680	2 ^m .750	2 ^m .750	2 ^m .750	2 ^m .750	3 ^m .250	3 ^m .250	2 ^m .90	2 ^m .90
Volume d'eau contenu dans la chaudière.	2 ^m .538	7 ^m .534	15 ^m .177	30 ^m .418	33 ^m .212	32 ^m .868	38 ^m .650	38 ^m .650	38 ^m .650	38 ^m .650	50 ^m .996	50 ^m .996	80 ^m .911	80 ^m .911
Volume de vapeur contenu dans la chaudière, y compris les coffres.	2 ^m .140	11 ^m .478	10 ^m .414	12 ^m .080	28 ^m .162	45 ^m .924	48 ^m .718	48 ^m .718	48 ^m .718	48 ^m .718	47 ^m .768	47 ^m .768	77 ^m .835	77 ^m .835
Surface de chauffe totale.	20 ^m .324	63 ^m .166	96 ^m .892	152 ^m .832	194 ^m .138	147 ^m .964	169 ^m .228	169 ^m .228	169 ^m .228	169 ^m .228	233 ^m .402	233 ^m .402	419 ^m .412	419 ^m .412
Surface par cheval.	1 ^m .694	1 ^m .263	1 ^m .210	1 ^m .274	4 ^m .213	0 ^m .925	0 ^m .940	0 ^m .940	0 ^m .940	0 ^m .940	4 ^m .060	4 ^m .060	0 ^m .932	0 ^m .932
Nombre de corps de chaudière indépendants pour la production de la vapeur.	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	4	4
Nombre de foyers.	2	2	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	16	16
Surface des grilles.	1 ^m .008	2 ^m .702	5 ^m .204	6 ^m .480	9 ^m .776	7 ^m .488	8 ^m .818	8 ^m .818	8 ^m .818	8 ^m .818	40 ^m .408	40 ^m .408	22 ^m .040	22 ^m .040
Diamètre de la cheminée.	0 ^m .46	0 ^m .62	0 ^m .78	1 ^m .067	1 ^m .217	1 ^m .05	1 ^m .067	1 ^m .067	1 ^m .067	1 ^m .067	1 ^m .18	1 ^m .18	2 ^m .00	2 ^m .00
Hauteur de la cheminée au-dessus du dôme, non compris le couronnement.	5 ^m .00	9 ^m .15	12 ^m .95	12 ^m .20	14 ^m .60	11 ^m .20	11 ^m .20	11 ^m .20	11 ^m .20	11 ^m .20	11 ^m .50	11 ^m .50	11 ^m .00	11 ^m .00

EXTRAIT DE L'ORDONNANCE DU 22 MAI 1844, relative aux bateaux à vapeur qui naviguent sur les fleuves et rivières.

306. *Autorisation de navigation.* Aucun bateau à vapeur ne peut naviguer sur les fleuves et rivières, sans un permis de navigation. La demande de ce permis est adressée par le propriétaire du bateau au préfet du département où se trouve le point de départ. Dans cette demande, le propriétaire fait connaître :

- 1° Le nom du bateau ;
 - 2° Ses principales dimensions, son tirant d'eau à vide, et sa charge maximum exprimée en tonneaux de 1 000 kilogrammes ;
 - 3° La force de l'appareil moteur, exprimée en chevaux-vapeur (19) ;
 - 4° La pression, évaluée en atmosphères et fraction décimale d'atmosphère, sous laquelle l'appareil fonctionnera ;
 - 5° La forme de la chaudière, le service auquel le bateau est destiné, et les points de départ, de stationnement et d'arrivée ;
 - 6° Le nombre maximum des passagers qui pourront être reçus dans le bateau.
- Un dessin géométrique de la chaudière est joint à la demande.

La demande de permis est envoyée par le préfet à la commission de surveillance instituée dans le département, et de laquelle les ingénieurs des mines et des ponts et chaussées font partie. Cette commission visite le bateau, afin de s'assurer s'il offre toutes les garanties de solidité, et s'il n'offre aucun danger d'explosion ou d'incendie. Après cette visite, la commission assiste à un essai du bateau à vapeur, afin de s'assurer si le moteur a une force suffisante pour le service auquel il est destiné. Elle constate la hauteur des eaux lors de l'essai, le tirant d'eau, la vitesse du bateau en montant et en descendant, et les divers degrés de tension de la vapeur dans la chaudière pendant la marche du bateau. La commission dresse procès-verbal de sa visite et de son essai, en proposant les conditions auxquelles le permis peut être délivré, ou en exposant les motifs pour lesquels elle juge qu'il est convenable de surseoir à la délivrance du permis ou même de le refuser. D'après le procès-verbal de la commission, le préfet refuse ou délivre le permis, qui contient toutes les mesures d'ordre et de sûreté. Ce permis n'est valable que pour un an, et à chaque renouvellement la commission est consultée.

Si le bateau a été muni de son appareil moteur et mis en état

de naviguer dans un département autre que celui où il doit entrer en service, le propriétaire doit obtenir du préfet du premier de ces départements une autorisation provisoire de navigation pour faire arriver le bateau au lieu de sa destination. La commission de surveillance est consultée sur la demande. L'autorisation provisoire ne dispense pas le propriétaire du bateau de l'obligation d'obtenir un permis définitif de navigation lorsque ce bateau est arrivé au lieu de sa destination.

307. *Épreuves des chaudières à vapeur. Épaisseur de ces chaudières.* Le fabricant ne peut livrer aucune machine à vapeur sans qu'elle ait subi les épreuves prescrites ci-après :

Les chaudières à vapeur, leurs tubes bouilleurs et les réservoirs à vapeur, les cylindres en fonte des machines à vapeur et les enveloppes en fonte de ces cylindres, ne peuvent être établies à bord des bateaux, sans avoir été préalablement soumis par les ingénieurs des mines, ou, à leur défaut, par les ingénieurs des ponts et chaussées, à une pression triple de la pression effective $n - 1$ de la vapeur dans la chaudière (240) ; cette épreuve s'opère comme pour les machines fixes, à l'aide d'une pompe de pression (241).

Les chaudières qui ont des faces planes sont dispensées de l'épreuve ; mais sous la condition que la force élastique de la vapeur ne s'élèvera pas dans la chaudière à plus d'une atmosphère et demie.

Ces épreuves sont faites à la fabrique, par ordre du préfet, sur la déclaration du fabricant. Elles sont renouvelées après l'installation dans les mêmes circonstances que pour les machines fixes (241), et pendant la marche, si la commission de surveillance le juge à propos, ou si les chaudières ou autres pièces ont subi des changements notables (les propriétaires sont tenus de donner connaissance de ces changements au préfet).

Les machines venant de l'étranger sont pourvues des mêmes appareils de sûreté que les machines d'origine française, et subissent les mêmes épreuves. Ces épreuves sont faites au lieu désigné par le destinataire dans la déclaration qu'il doit faire à l'importation.

L'usage des chaudières et des tubes bouilleurs en fonte est prohibé sur les bateaux.

L'épaisseur des chaudières cylindriques en tôle ou en cuivre laminé se règle comme pour les chaudières fixes (240).

Les chaudières, tubes bouilleurs, réservoirs à vapeur, et les cylindres en fonte ainsi que leurs enveloppes en fonte doivent, comme pour les machines fixes, porter un timbre apparent indiquant la pression absolue n de la vapeur dans la chaudière (240).

308. *Soupapes de sûreté.* Chaque chaudière porte deux soupapes, disposées et chargées comme pour les machines fixes (243). Leur diamètre et l'épaisseur de leur rebord se règlent également comme au n° 243.

Il est de plus adapté à la partie supérieure des chaudières à faces planes, une soupape atmosphérique, c'est-à-dire une soupape s'ouvrant du dehors au dedans.

Les propriétaires de bateaux à vapeur sont tenus d'adapter aux machines et chaudières employées dans ces bateaux les appareils de sûreté qui pourraient être découverts par la suite, et qui seraient prescrits par des règlements d'administration publique.

309. *Manomètres.* Toute chaudière à vapeur est munie d'un manomètre gradué et disposé comme pour les machines fixes (244).

Le manomètre à air libre n'est exigé que pour des pressions effectives ne dépassant pas 2 atmosphères (au-dessus de cette limite il devient embarrassant de le disposer sur le bateau).

310. *Alimentation des chaudières à vapeur, et indicateurs du niveau de l'eau dans les chaudières.* Chaque chaudière est munie d'une pompe alimentaire bien construite et en bon état d'entretien. Indépendamment de cette pompe, mise en mouvement par la machine motrice du bateau, chaque chaudière est pourvue d'une autre pompe pouvant fonctionner, soit à l'aide d'une machine particulière, soit à bras d'hommes, et destinée à alimenter la chaudière, s'il en est besoin, lorsque la machine motrice du bateau ne fonctionne pas.

Le niveau habituel de l'eau dans la chaudière est le même que pour les chaudières fixes (245), et il est également indiqué à l'extérieur par une ligne apparente.

Il est adapté à chaque chaudière : 1° deux tubes indicateurs en verre, qui sont placés un à chaque côté de la face antérieure de la chaudière; 2° l'un des deux appareils suivants, savoir : un flotteur d'une mobilité suffisante; des robinets indicateurs, convenablement placés à des niveaux différents. Les appareils indica-

teurs sont, dans tous les cas, disposés de manière à être en vue du chauffeur.

Si plusieurs chaudières sont établies dans un bateau, elles ne peuvent être mises en communication que par les parties toujours occupées par la vapeur, et cette communication est disposée de manière que les chaudières puissent, au besoin, être rendues indépendantes les unes des autres. Dans tous les cas, chaque chaudière est alimentée séparément et munie de tous les appareils de sûreté.

311. *Emplacement des appareils moteurs.* Cet emplacement doit être assez grand pour qu'on puisse faire le service des chaudières et visiter toutes les parties des appareils. Cet emplacement est séparé des salles des passagers par des cloisons en planches très-solidement construites, et entièrement revêtues d'une doublure en tôle, à recouvrement, d'un millimètre d'épaisseur au moins.

312. *De l'installation des bateaux à vapeur, des agrès, des appareils et des équipages.* Le pont est garni de garde-corps d'une hauteur suffisante pour la sûreté des voyageurs; toutes les ouvertures pratiquées au-dessus des machines et des chaudières, qui ne sont pas habituellement fermées par un panneau plein, sont munies d'un grillage en fer ou en bois.

De chaque côté du bateau se trouve placé un escalier d'embarquement (en bois ou en fer), avec une rampe ou une corde à nœuds solidement fixée.

Les tambours qui, de chaque côté du bateau, enveloppent les roues motrices, sont munis d'une défense en fer, descendant assez près de la surface de l'eau, pour empêcher les embarcations de s'engager dans les palettes des roues.

Lorsque la cheminée est mobile, et qu'elle ne se trouve pas disposée de manière à être en équilibre sur son axe de rotation dans toutes les positions, il est établi, sur le pont du bateau, un support suffisamment élevé pour arrêter la cheminée en cas de chute, et prévenir tout accident.

La ligne de flottaison indiquant le maximum du chargement est tracée d'une manière apparente sur le pourtour entier de la carène, d'après les points de repère déterminés par le permis de navigation.

Le nom du bateau est inscrit en gros caractères sur chacun de ses côtés.

Dans chaque bateau se trouvent :

- 1° Deux ancres au moins pouvant être jetées immédiatement ;
- 2° Un canot à la traîne ou suspendu à des palans , de manière à pouvoir être au besoin mis immédiatement à l'eau , les dimensions de ce canot sont déterminées par le préfet , d'après l'avis de la commission de surveillance ;
- 3° Une bouée de sauvetage en liège , suspendue sous l'arrière ;
- 4° Une hache en bon état , à portée du timonnier ;
- 5° Une cloche pour donner les avertissements nécessaires ;
- 6° Une boîte fumigatoire pour administrer des secours aux asphyxiés ;
- 7° Des manomètres de rechange , ainsi que des tubes indicateurs de rechange.

Si le bateau est exposé à être poussé accidentellement à la mer , il est muni des cartes et des instruments nautiques nécessaires à cette navigation.

Indépendamment du capitaine , maître ou timonnier , et des matelots ou mariniers formant l'équipage , il y a à bord de chaque bateau un mécanicien et autant de chauffeurs que l'appareil moteur l'exige.

Nul ne peut être employé en qualité de capitaine ou de mécanicien , s'il ne produit des certificats de capacité délivrés dans les formes déterminées par notre ministre des travaux publics.

313. *Mesures diverses concernant le service des bateaux à vapeur.* Dans toutes les localités où cela est possible , il est assigné à chaque bateau à vapeur , un lieu de stationnement distinct de celui des autres bateaux. En cas de concurrence , les heures de départ sont réglées par le préfet.

Aucun bateau à vapeur ne doit quitter le point de départ et les lieux de stationnement pendant la nuit , ni en temps de brouillard , de glaces ou de débordements , à moins d'une permission spéciale délivrée par l'autorité chargée de la police locale. Tout bateau à vapeur naviguant pendant la nuit tient constamment allumés deux fanaux placés , l'un à l'avant l'autre à l'arrière. Ces deux fanaux sont à verres blancs lorsque le bateau descend , et à verres rouges lorsqu'il remonte. En cas de brouillard , le capitaine fait tinter continuellement la cloche du bateau pour éviter les abordages.

Si deux bateaux à vapeur , marchant en sens inverse , viennent à se rencontrer , le bateau descendant ralentit son mouvement , et

chaque bateau serre le chenal de navigation à sa droite. Si les dimensions de ce chenal sont telles qu'il ne reste pas entre les parties les plus saillantes des bateaux un intervalle libre de 4 mètres au moins , le bateau qui remonte s'arrête et attend , pour reprendre sa route , que celui qui descend ait doublé le passage. Dans les rivières à marée , le bateau qui vient avec le flot est censé descendre.

Si la rencontre a lieu entre deux bateaux à vapeur marchant dans la même direction , celui qui est en avant serre le chenal de navigation à sa droite ; celui qui est derrière , le chenal à sa gauche.

Si les dimensions du chenal ne permettent pas le passage de deux bateaux , le bateau qui est en arrière ralentit son mouvement , et attend que la passe soit passée pour reprendre toute sa vitesse. Des arrêtés du préfet désignent les passes où il est interdit aux bateaux à vapeur de se croiser ou de se dépasser.

Les capitaines des bateaux à vapeur peuvent prendre ou déposer en route des voyageurs ou des marchandises , qui sont transportés dans des batelets ; mais ils doivent faire arrêter l'appareil moteur du bateau , afin que les batelets puissent accoster sans danger. Ces batelets , avant d'aborder , sont amarrés au bateau à vapeur , et celui-ci ne doit continuer sa navigation que lorsqu'ils ont été poussés au large.

Pour chaque localité , un arrêté du préfet détermine les conditions de solidité et de stabilité des batelets destinés au service d'embarquement et de débarquement des passagers , le nombre des personnes que ces batelets peuvent recevoir , et le nombre des mariniers nécessaires pour les conduire. Le maire de la commune délivre les permis de service après s'être préalablement assuré que les batelets sont conformes aux dispositions de sûreté prescrites , et que les mariniers remplissent les conditions exigées par l'art. 47 de la loi du 6 frimaire an VII ; c'est-à-dire que ces mariniers doivent être munis de certificats des commissaires civils de la marine dans les lieux où ces sortes d'emplois sont établis , ou de l'attestation de quatre anciens mariniers conducteurs , donnée devant l'administration municipale dans les autres lieux.

Sur les points où le service des batelets serait dangereux , les préfets peuvent en interdire l'usage.

314. *Conduite du feu et des appareils moteurs.* Le mécanicien ,

sous l'autorité du capitaine, préside à la mise en feu avant le départ ; il entretient toutes les parties de l'appareil moteur ; il s'assure qu'elles fonctionnent bien et que les chauffeurs sont en état de bien faire leur service. Pendant le voyage, il dirige les chauffeurs et s'occupe constamment de la conduite de la machine.

Il est tenu, à bord de chaque bateau, un registre dont toutes les pages sont cotées et paraphées par le maire de la commune où est le siège de l'entreprise, et sur lequel le mécanicien inscrit d'heure en heure :

- 1° La hauteur du manomètre ;
- 2° La hauteur de l'eau dans la chaudière, relativement à la ligne d'eau (310) ;
- 3° Le lieu où se trouve le bateau.

A la fin de chaque voyage, le mécanicien signe ces indications dont il certifie l'exactitude.

Il est défendu aux propriétaires de bateaux à vapeur et à leurs agents de faire fonctionner les appareils moteurs sous une pression supérieure à celle déterminée dans le permis de navigation, et de rien faire qui puisse détruire ou diminuer l'efficacité des moyens de sûreté dont ces appareils sont pourvus.

315. *Dispositions relatives aux passagers.* Il est défendu de laisser aucun passager s'introduire dans l'emplacement de l'appareil moteur.

Indépendamment du registre du mécanicien, il est ouvert dans chaque bateau à vapeur un autre registre dont toutes les pages sont cotées et paraphées de la même manière (314), et sur lequel les passagers ont la faculté de consigner leurs observations, en ce qui pourrait concerner le départ, la marche et la manœuvre du bateau, les avaries ou accidents quelconques, et la conduite de l'équipage : ces observations doivent être signées par les passagers qui les font. Le capitaine peut également consigner sur ce registre les observations qu'il jugerait convenables, ainsi que tous les faits qu'il lui paraîtrait important de faire attester par les passagers.

Dans chaque salle où se tiennent les passagers, il est affiché une copie du permis de navigation et un tableau indiquant :

- 1° La durée moyenne des voyages, tant en montant qu'en descendant, et en ayant égard à la hauteur des eaux ;
- 2° La durée des stationnements ;

- 3° Le nombre maximum des passagers ;
- 4° La faculté qu'ils ont de consigner les observations sur le registre ouvert à cet effet ;
- 5° Le tarif des places.

Les propriétaires de bateaux à vapeur sont tenus de recevoir à bord et de transporter gratuitement, les inspecteurs de la navigation, gardes de rivières, ou autres agents qui seraient chargés spécialement de la police et de la surveillance de ces bateaux.

QUATRIEME PARTIE.

Chemins de fer.

316. *Coup d'œil historique.* C'est en 1682 qu'on a construit, aux environs de Newcastle, pour le transport de la houille, les premières lignes de rail-ways, mais les rails étaient en bois; vers 1738 on les fit en fonte; et ce n'est qu'en 1805 que l'on commença à les faire en fer malléable. Les waggons étaient remorqués par des chevaux, et ce n'est guère que depuis l'invention de la machine locomotive, par le Français Cugnot, que les chemins de fer ont commencé à croître en importance.

Depuis à peu près 40 ans, M. Stephenson construit des machines locomotives; mais elles ne parcouraient que quatre lieues à l'heure. En 1826, M. Séguin imagina la chaudière tubulaire, dont M. Stephenson produisit, en 1828, le tirage par le jet de vapeur; et, depuis cette époque, les locomotives exécutées, soit par ce dernier, soit par tous les autres constructeurs, ont marché avec une vitesse de 15, 18 et même 20 lieues à l'heure, il paraît même que dernièrement on a atteint 22 et même 25 lieues. Depuis 1828, on n'a guère apporté aux locomotives que des perfectionnements de détails; cependant, l'application de la détente de la vapeur, faite dernièrement par M. Meyer, peut être considérée comme une amélioration capitale, sous le point de vue de l'économie du combustible.

L'expérience n'a pas encore suffisamment confirmé les avantages que peuvent présenter les chemins de fer atmosphériques.

317. *Division des chemins de fer.* Afin de diminuer le tirage des voitures et d'accélérer la vitesse de transport, on construit des chemins en pierre, en bois et en fer. Ces derniers, qui sont les plus importants, se divisent en chemins de fer de premier et de second

ordre ; ceux de premier ordre sont les chemins de fer permanents que l'on construit aujourd'hui pour les grandes lignes de communication ; ils sont destinés au transport, soit des marchandises, soit des voyageurs ; ceux de second ordre, par lesquels a commencé l'usage de ce genre de voie, ne sont que temporaires ; on ne les établit guère que dans les usines ou magasins, pour y faciliter le transport des matières premières et des produits fabriqués, ou des marchandises.

318. *Chemins de fer de service ou de second ordre.* Les chemins de fer de second ordre sont simplement formés de deux lignes de barres de fer plates de 4 mètres de longueur, placées de champ, et reposant sur des traverses en bois de 0^m,15 à 0^m,20 d'équarrissage. Les barres de fer sont fixées, à l'aide de coins en bois, dans des entailles que portent les traverses ; l'écartement de ces traverses est de 1 mètre. Quelquefois les barres de fer sont carrées, et on les fixe sur les traverses en bois au moyen de clous ou de vis à tête noyée. Les barres de fer sont quelquefois posées à plat sur deux lignes de madriers en bois de 0^m,15 à 0^m,20 d'équarrissage, et sur lesquelles elles sont fixées de distance en distance par des clous ou des vis à tête fraisée. C'est sur ces deux lignes de barres de fer que roulent les roues des waggons. Ces chemins n'offrent jamais une grande solidité, aussi ne les construit-on que pour des communications de peu d'importance.

TABLEAU des dimensions moyennes des rails de quelques chemins de service.

DÉSIGNATION des chemins.	DIMENSION des barres		POIDS d'un chariot chargé.	DISTANCE des traverses.	OBSERVATIONS.
	ver- tiges.	long- ueurs.			
Pont-canal de Digoïn.	0.060	0.016	4000	1.00	
Pont-canal de l'Allier.	0.070	0.009	1400	1.00	
Pont de Roanne. . . .	0.070	0.015	1300	1.00	
Leeds et Selby. . . .	0.030	0.030	2500	1.10	
Soccoa.	0.012	0.030	2800	. . .	Rails sur longrines de 0 ^m ,16 sur 0 ^m ,15.
Travaux de Cherbourg	0.030	0.050	6000	. . .	Idem de 0 ^m ,20 sur 0 ^m ,15.
Canal de Bourgogne.	0.005	0.040	. . . .	. . .	Rails sur longrines.

CHEMINS DE FER DE PREMIER ORDRE.

ÉTABLISSEMENT DE LA VOIE.

319. *Largeur de la voie.* (Les nombres qui suivent, sur l'établissement de la voie, sont en général extraits de l'ouvrage de MM. Perdonnet et Polonceau, *Portefeuille de l'ingénieur des chemins de fer.*) En France et en Belgique, et généralement en Angleterre, pour le transport des voyageurs, la distance d'axe en axe des deux files de rails est de 1^m,50 ou de 1^m,44 entre les faces intérieures des rails ; sur le chemin de Londres à Yarmouth, cette distance intérieure est de 1^m,52 ; sur le chemin de Dundee à Arbroath et d'Arbroath à Forfar (Écosse), elle est de 1^m,68 ; sur les chemins d'Irlande et de Russie elle est de 1^m,83 ; sur le chemin de Londres à Bristol, où tout dépasse les limites ordinaires, M. Brunel fils l'a portée à 2^m,13 ; la vitesse de circulation y est de 10 à 12 lieues à l'heure, au lieu de 8 à 9 lieues qu'elle est ordinairement sur les autres chemins. Un chemin économique, construit de Gand à Anvers, n'a que 1^m,10 de largeur de voie ; sur ce chemin, une machine locomotive avec son tender ne pèse que 5 tonnes.

320. *Entre-voie.* Sur la plupart des chemins français et belges, l'entre-voie a 1^m,80 ; sur le chemin de Londres à Birmingham, elle a 1^m,92 ; sur celui de Bristol, 1^m,87 ; sur celui de Bruxelles à Mons, 2^m,50. Sur le chemin de Versailles (rive gauche), la distance des caisses de deux diligences placées sur deux voies différentes, est de 0^m,84 (il n'y a aucun danger pour le voyageur qui passe la tête par la portière), et la distance des marchepieds est de 0^m,45 ; avec cet espacement de voitures, il faut éviter de réduire la largeur 1^m,80 de l'entre-voie, en y plaçant des colonnettes en fonte soutenant des ponts.

321. *Accotements.* Sur les chemins anglais, la largeur des accotements est, pour les terrains ordinaires, de 0^m,50 plus grande sur remblai que dans les tranchées ; dans les terrains marécageux, elle est au contraire plus grande dans les tranchées que sur remblai : ainsi elle est de 3^m,00 dans les tranchées et de 1^m,50 à 2 mètres sur remblai. Sur le chemin de Versailles (rive gauche), cette largeur, comptée depuis la face extérieure du rail, est de 1^m,57 en

remblai, et de 0^m,87 dans la tranchées; sur le chemin de Bristol, cette largeur, comptée de l'extérieur du rail à la crête du remblai ou à l'arête du fossé, est, en terrain ordinaire, de 1^m,45; sur le chemin de Liverpool à Manchester, elle est de 1^m,52; sur le chemin de Londres à Birmingham, de 2^m,20; et sur les nouveaux chemins belges (Bruxelles à Mons), de 1^m,75. Il convient, d'après M. Perdonnet, pour la sûreté de la circulation, de ne pas lui donner moins de 1^m,50.

Dans les souterrains, et quelquefois dans les ouvrages d'art, on diminue la largeur des accotements afin de réduire la dépense; l'eau s'écoule par un fossé ou aqueduc placé au milieu de l'entre-voie.

L'administration des ponts et chaussées prescrit, pour la distance de la face extérieure du rail à l'arête extérieure du chemin, 1^m,00 en déblai, en souterrain et sur les ponts, et 1^m,50 en remblai.

322. *Fossés, sentier le long des barrières, talus.* Les dimensions des fossés doivent être en rapport avec la quantité d'eau qu'ils reçoivent (cinquième partie) et à laquelle ils doivent donner un écoulement facile.

Il suffit que le sentier placé le long des barrières ait 1 mètre de largeur entre le remblai et les barrières.

La compagnie doit acheter 2 ou 3 mètres de largeur de terrain au delà des crêtes des tranchées; on y établit des fossés qui empêchent les eaux de descendre sur les talus.

Dans les grandes tranchées, on établit, à une petite hauteur au-dessus du fossé, une petite banquette de 0^m,30 de largeur, avec une légère contre-pente pour retenir les petites pierres qui se détachent toujours des talus.

Il y a des terres qui se soutiennent sous un angle de 45°, mais d'autres qui coulent sous des angles plus faibles (cinquième partie).

323. *Ouverture et hauteur des ponts.* Quand le chemin devra passer au-dessus d'une route royale ou départementale, ou d'un chemin vicinal (cahier des charges des chemins de fer de Paris à Rouen, de Paris à Orléans et de Bâle à Strasbourg), l'ouverture du pont ne sera pas moins de 8 mètres pour la route royale, 7 mètres pour la route départementale, 5 mètres pour un chemin vicinal de grande communication, et 4 mètres pour un chemin vicinal ordinaire.

La hauteur sous la clef, à partir de la chaussée de la route, sera

de 5 mètres au moins. Pour les ponts en charpente, la hauteur sous poutres sera de 4^m,30 au moins. La largeur entre les parapets sera de 7^m,40 au moins, et la hauteur de ces parapets de 0^m,80 au moins.

Siau contraire le chemin de fer passe au-dessous d'une route royale, d'une route départementale, d'un chemin vicinal de grande communication, ou d'un simple chemin vicinal, la largeur minimum entre les parapets du pont qui supportera ces différentes voies sera respectivement de 8 mètres, 7 mètres, 5 mètres et 4 mètres. L'ouverture du pont entre les culées sera au moins de 7^m,40, et la hauteur de l'intrados au-dessus des rails ne sera pas de moins de 4^m,30.

324. *Pentes des routes aux abords des ponts.* S'il y a lieu de déplacer les routes existantes, la déclivité des pentes ou rampes ne pourra excéder 0^m,03 pour les routes royales et départementales, et 0^m,05 pour les chemins vicinaux.

325. *Souterrains.* La largeur entre les pieds droits (cah. des charges cité n° 323), est fixée à 7^m,40, et la hauteur sous la clef à 5^m,50.

Il convient qu'un homme puisse se tenir debout sur l'impériale; or, les diligences les plus élevées ayant 2^m,80, si on compte 2^m,20 pour l'homme de grande taille avec son chapeau, on voit que la distance des rails à l'intrados ou aux sous-poutres doit être de 5 mètr. au moins.

326. *Superficiés occupées par les gares et ateliers.* La surface occupée par une gare destinée seulement aux voyageurs, placée à l'extrémité d'une seule ligne, varie de 0,4 à 1,5 hectare; ce dernier nombre paraît suffisant pour les plus actives circulations. Quant aux gares de marchandises, M. Perdonnet pense qu'une superficie de 2 hectares suffirait pour la plupart des chemins existant aujourd'hui en Europe.

Pour les chemins de Saint-Germain et de Versailles (rive droite), les ateliers et magasins, communs aux deux chemins, avec leurs cours, occupent une superficie de 2 hectares; en y comprenant une remise que l'on peut considérer comme une dépendance, le tout occupe 3 hectares. Près des ateliers, de l'autre côté de la voie, se trouve encore un chantier d'environ 1 hectare.

Au chemin d'Orléans, les ateliers principaux, qui sont très-spacieux, couvrent, y compris les cours, les magasins et une remise circulaire pour locomotives, 4 hectares. Il y a en outre des ateliers accessoires de réparation à Corbeil, Étampes et Orléans.

327. *Chaussée sur déblai.* Sur un terrain solide, on fait immédiatement la fouille jusqu'à la profondeur de 0^m,50 ou 0^m,60 au-dessous du niveau des rails, en inclinant le fond de 0^m,03 par mètre à partir de l'axe vers l'un ou l'autre côté. On construit ensuite, parallèlement à l'axe, deux murs en pierre sèche, qui séparent la chaussée du fossé; on donne à ces murs une hauteur égale à celle de la chaussée, et un fruit de 1/10 du côté du fossé. Sur le fond de l'espace intercepté par ces murs, on étale une couche de 0^m,25 d'épaisseur, de sable, de pierres concassées, de menu charbon ou de toute autre matière perméable et légèrement élastique; sur cette couche, on place les dés ou les traverses qui doivent supporter les coussinets. Les coussinets posés, on y ajuste les rails que l'on fixe par des coins en bois, et on remplit l'intervalle entre les dés ou les traverses jusqu'au niveau de la face supérieure des murs en pierre sèche, avec la matière employée pour le fond de la chaussée. Il importe que les dés, et surtout les traverses, soient bien enveloppés de cette matière, laquelle étant bien pilonnée tout autour, les empêche jusqu'à un certain point de se déranger.

Dans les tranchées, on peut employer les dés ou les traverses; mais on préfère ces dernières, qui sont plus élastiques, maintiennent bien parallèles les deux lignes de rails, et sont plus faciles à relever; il n'y a que le prix qui, dans certaines localités, peut faire employer les dés.

328. *Chaussée sur remblai.* Si le terrain est solide, la chaussée se construit comme dans le numéro précédent, sauf la plus grande largeur des accotements (321). Il n'est pas nécessaire de bomber la surface qui supporte la matière perméable et élastique, l'inégalité de tassement du remblai la bombe naturellement.

Les dés sont prohibés sur remblai, on n'y emploie exclusivement que les traverses en bois.

329. *Chaussée sur un terrain marécageux.* Après avoir desséché le terrain, si cela est possible économiquement, on retombe dans les cas précédents.

Si le terrain marécageux a peu de profondeur, et qu'on ne veuille ou qu'on ne puisse pas le dessécher, on enfonce des pilots qui pénètrent jusqu'à une profondeur convenable dans le terrain solide (83 et suivants); on réunit la tête de ces pieux par des longuerines,

sur lesquelles on pose des traversines, et sur ces traversines on place de nouveaux cours de longuerines qui portent les rails.

Si le marais est très-profond, on dessèche, au moyen de fossés parallèles, une couche de 15 à 18 pouces d'épaisseur; sur cette bande de terrain, on repose des facines que l'on recouvre d'un lit de pierrailles; on place ensuite, comme dans le cas précédent, des cours de longuerines, des traversines, et des longuerines qui supportent les rails.

Au chemin de fer de Versailles (rive gauche), pour fonder sur un terrain sablonneux aquifère, d'une profondeur considérable, on a enfoncé le long de chacun des talus deux cours de palles-planches éloignés de 1^m,00; on a vidé les terres entre ces palles-planches, et on les a remplacées par des murs en pierre sèche. On a ensuite enlevé la couche de terrain ainsi desséchée entre les deux fossés; sur le fond de cette nouvelle excavation, on a posé avec soin un lit de grosses pierres, sur ce premier lit on en a étendu quelquefois un second et même un troisième en pierres moins grosses, et sur ces pierres on a établi la chaussée en sable de 0^m,50 d'épaisseur (327).

330. *Sable et pierres concassées.* Le sable doit être composé de grains de grosseur moyenne et assez durs pour ne pas être facilement écrasés. Il en faut au moins 4 mètres cubes par mètre courant de chaussée, sans compter ce que l'on consomme dans les premiers temps pour relever la voie.

Le prix du sable est très-variable; il dépend surtout de la distance de la carrière au point où il est employé. A la carrière, il coûte ordinairement de 0 fr. 50 c. à 0 fr. 75 c. le mètre cube; au lieu que rendu sur le chemin de fer, il a coûté 2 fr. au chemin de Saint-Germain; au chemin de fer de Versailles (rive gauche), sans que la distance de transport soit très-considérable, il a coûté 4 fr., 4 fr. 50 c. et jusqu'à 6 et 7 fr. le mètre cube; au chemin de fer de Lille à la frontière belge, il a coûté jusqu'à 12 fr., et en moyenne 8 fr. 40 c.

Les pierres concassées employées à la construction de la chaussée doivent être d'égale dureté, et pouvoir, comme le sable, résister à l'écrasement; il faut rejeter celles que la gelée réduirait en poussière.

331. *Dés et traverses.* Les dés peuvent être d'une pierre quelconque, mais ni trop tendre ni trop gélive. Sur les chemins anglais, ils n'ont pas moins de 0^m,60 de cote, sur 0^m,30 de hauteur. A l'ex-

ception de la face supérieure, que l'on dresse légèrement pour recevoir le coussinet, les autres faces sont brutes ou à peu près. Une plaquette de carton goudronné ou de bois interposée entre le dé et le patin du coussinet, donne de l'élasticité au chemin.

Pour les traverses, le bois doit être de bonne qualité, d'un an de coupe, suffisamment sec et purgé d'aubier; le bois qui a séjourné quelque temps sous l'eau, tel que celui qu'à Paris on appelle bois flotté, est le plus estimé. Pour les chemins des environs de Paris, on a employé le chêne; en Angleterre, on emploie le sapin imprégné de sublimé corrosif. Le bois de chêne est celui qui se conserve le mieux, puis le hêtre rouge, le peuplier à feuilles blanches et le mélèze; le saule et certaines variétés de sapins pourrissent rapidement.

Au chemin de Versailles (rive gauche), les traverses ont de 2^m,20 à 2^m,40 de longueur, de 0^m,15 à 0^m,20 d'épaisseur, et de 0^m,20 à 0^m,25 de largeur; un quart de ces traverses au moins, celles destinées aux joints des rails, devaient avoir 0^m,30 de largeur. Avec moins de 2^m,20 de longueur ou de 0^m,15 d'épaisseur, la plupart des traverses se fendaient en enfonçant les chevilletes. Au chemin de fer de Bâle à Strasbourg, les traverses ont 2^m,20 de longueur sur 0^m,25 de largeur et 0^m,15 d'épaisseur. Il convient d'augmenter un peu la longueur 2^m,20 des traverses. Sur plusieurs chemins anglais on l'a portée à 2^m,70, et elle ne descend pas au-dessous de 2^m,40; la largeur varie de 0^m,22 à 0^m,25, et l'épaisseur, de 0^m,11 à 0^m,14, avec des chevilletes d'une longueur proportionnée.

Au chemin de fer de Versailles (rive gauche), les traverses en chêne, cubant un peu plus de 1 décistère, sont revenues à environ 7 fr. 50 c. pièce; à Anvers, les traverses en chêne têtard n'ont coûté que 3 fr. 80 c.; et sur le chemin de Londres à Birmingham, les traverses en sapin ont coûté 9 fr. pièce, non compris 90 cent. pour leur préparation au sublimé corrosif.

332. *Coussinets.* Les coussinets doivent être parfaitement conformes au modèle envoyé par la compagnie du chemin de fer. Ce modèle doit coïncider exactement avec les faces du rail, avec lesquelles il doit être en contact, et, afin que tous les coussinets jouissent de la même propriété, il convient de les mouler avec un modèle métallique bien dressé et bien ajusté sur le rail; c'est ainsi que MM. Ran

some et May, fondeurs d'Ipswich, ont moulé les coussinets du chemin de Londres à Douvres, d'après le modèle de M. W. Cubitt. Cet ingénieur a placé les trous des chevilletes non sur une même ligne normale à l'axe du coussinet, afin qu'il y ait moins tendance à fendre les traverses en enfonçant les chevilletes.

Le rail est en contact avec le coussinet par toute sa face inférieure; mais la face non située du côté du coin ne porte souvent contre la joue du coussinet, qu'à la partie inférieure, et sur une hauteur de 0^m,01 environ à la partie supérieure.

Les coussinets doivent être en fonte, d'un grain ni trop gros et trop lâche, ni trop fin et trop serré; ils doivent être exempts de soufflures, gouttes froides et autres défauts du même genre.

La difficulté d'obtenir une marche régulière d'un haut-fourneau, et, par suite, des produits toujours d'une bonne qualité, devrait ne faire employer, comme aux chemins de fer de Saint-Germain, de Versailles (rive gauche et rive droite) et d'Orléans, que de la fonte de seconde fusion; cependant le gouvernement français, à l'imitation du gouvernement belge, a admis, pour les chemins de fer de l'État, les coussinets de fonte de première fusion aussi bien que ceux de fonte de seconde fusion.

On juge de la qualité des coussinets en en cassant quelques-uns pris au hasard dans chaque fourniture; mais, comme il est à craindre qu'on ne les coule avec des fontes provenant de hauts-fourneaux marchant à l'air chaud, qui, quoique d'une faible ténacité, présentent un grain satisfaisant, le gouvernement prescrit, avec raison, des essais à faire sur la fonte qui sert à les couler; la résistance absolue doit être de 1500 kilog. au moins par centimètre carré de section.

L'ingénieur peut rejeter la totalité des coussinets, quand il y en a 1/7 de mauvais, et la compagnie a droit aux dommages-intérêts qui ont été fixés à l'avance.

La compagnie du chemin de fer a à l'usine un agent de son choix, chargé de surveiller la fabrication des coussinets, et qui en fait arrêter le coulage, si l'allure du haut-fourneau se déränge; mais, malgré cette précaution et tous les soins que l'on peut prendre pour s'assurer de la bonne qualité des coussinets, le fournisseur doit encore garantir sa marchandise pendant un an de service.

Aux chemins de fer de Saint-Germain, de Versailles et d'Orléans,

les coussinets, fournis en grande partie par l'usine de Fourchambault, ont coûté de 30 à 34 fr. les 100 kilog. rendus à Paris. Les dernières adjudications au compte du gouvernement ont eu lieu à raison de 23 fr. les 100 kilog. de seconde fusion, rendus sur les chantiers. Pour le chemin de fer du Nord, le gouvernement ayant divisé la fourniture des coussinets en trois lots, fixés au maximum à 22 fr. 80 c., 22 fr. et 21 fr. les 100 kilog., il n'y a pas eu d'adjudication; les offres les plus favorables des maîtres de forge s'élevant à 23 fr. 80 c., 23 fr. et 22 fr. 70 c. les 100 kilog.

TABLEAU des poids et des dimensions principales des coussinets ordinaires de quelques chemins de fer (335, page 408) (*).

COUSSINETS.	Versailles (rive gauche)	St.-Germain et Versailles (rive droite)	Paris à Orléans.	Paris à Rouen.	Naples.	Londres à Birmingham.	
Poids du coussinet.	0 ^k .60 ^a	0 ^k .60 ^b	0 ^k .20	0 ^k .50	»	»	
Patin, {	Longueur, suivant celle du rail.	0 ^m .118 ^c	0 ^m .109 ^d	0 ^m .104	0 ^m .116	0 ^m .105	0 ^m .125
	Largeur, suivant celle du rail.	0 .24 ^e	0 .265 ^f	0 .245	0 .24	0 .225	0 .270
	Épaisseur entre les deux nervures, aux trous des chevilletes ^g	0 .030	0 .025	0 .033	0 .030	0 .030	0 .029
	Épaisseur sous le rail.	0 .045	0 .050	0 .045	0 .042	0 .045	0 .045
Joue intérieure. {	Épaisseur au bas.	0 .023	0 .015	0 .020	0 .020	0 .016	0 .030 ^h
	Épaisseur en haut.	0 .016	0 .010	0 .010	0 .016	0 .015	0 .018
Joue extérieure. {	Épaisseur au bas.	0 .028	0 .027	0 .027	0 .032	0 .025	0 .024
	Épaisseur en haut.	0 .012	0 .011	0 .011	0 .016	0 .012	0 .016
	Hauteur, depuis le dessous du patin ⁱ	0 .135	0 .140	0 .130	0 .132	0 .130	0 .138
Section transversale des coins. {	Dimension maxima horizontale.	0 .033	0 .042	0 .045	0 .045	0 .035	0 .048
	Dimension maxima verticale.	0 .07	0 .06	0 .073	0 .054	0 .064	0 .048
Trous des chevilletes. {	Diamètre en haut.	0 .021	0 .018	0 .020	0 .021	0 .018	0 .022
	Diamètre au bas.	0 .019	0 .017	0 .019	0 .019	0 .016	0 .020
Longueur moyenne des joues ou de la surface de serrage (suivant la longueur du rail).	0 .082 ^j	0 .065 ^k	0 .075	0 .088	0 .078	0 .070	
Ouverture horizontale entre les parties supérieures des joues.	0 .047	0 .05	0 .06	0 .065	0 .045	0 .065	
Hauteur totale du dessus du rail au-dessous du patin.	0 .160	0 .163	0 .159	0 .169	0 .153	0 .171	

(*) A l'exception des dimensions suivant la longueur du rail, toutes les autres

333. *Chevilletes*. Elles sont en fer de seconde qualité. On les essaye en en ployant quelques-unes sous un angle de 45°, et en les redressant ensuite; à cette opération, qui se fait à froid, à l'aide d'un marteau, elles ne doivent ni se rompre ni se craquer. La tête doit être refoulée, et non rapportée et soudée; elle sauterait quand on la frappe avec la masse pour enfoncer la chevillette; il convient même, à l'essai, de la frapper avec le marteau en cherchant à la faire sauter. Elles viennent d'être adjugées au prix moyen de 438^f.07 la tonne de 1000 kilog., pour le chemin de fer de Paris à Lille, et au prix de 439^f.25, pour celui de Lille à la frontière.

L'oxydation est un grave inconvénient des chevilletes en fer; au chemin de fer de Manchester à Liverpool, après un service de plusieurs années, une chevillette, qui dans l'origine avait 0^m.019 de diamètre, a été réduite à 0,009 seulement, tandis que le diamètre du trou du coussinet s'est agrandi de 4 millimètres; on conçoit combien ces 14 millimètres de jeu devaient rendre faciles les vibrations de la voie et hâter la destruction du matériel.

MM. Ransome et May remplacent les chevilletes en fer par celles en bois, qu'ils taillent suivant les fibres du bois dans des morceaux de cœur de chêne. Ils commencent par leur donner, sur le tour, des dimensions plus grandes que celles qu'elles doivent avoir une fois

sont les mêmes, ou à peu près, pour les coussinets de joint que pour les coussinets ordinaires.

^a Poids du coussinet de joint, 13^k.10. ^b Poids du coussinet de joint, 12^k.00.

^c Longueur *idem* 0^m.156. ^d Longueur *idem* 0^m.15.

^e Largeur *idem* 0^m.25. ^f Largeur *idem* 0^m.266.

^g Quelquefois cette épaisseur n'existe qu'à l'emplacement des trous, et on la diminue un peu ailleurs, de manière à avoir une rondelle en saillie autour du dessus de chaque trou.

^h Le coin est du côté de la nervure la moins élevée.

ⁱ La joue intérieure est de 0^m.01 environ moins élevée que la joue extérieure, afin qu'elle ne touche pas aux rebords des roues; elle est également élevée au chemin de Paris à Rouen. Chaque joue intérieure et extérieure est contenue par deux nervures qui s'élèvent jusqu'à sa partie supérieure.

^j Longueur moyenne des joues du coussinet de joint, 0^m.12.

^k Longueur moyenne des joues du coussinet de joint, 0^m.11.

Les dimensions données pour le patin sont prises pour la face inférieure; les faces latérales sont inclinées de manière à réduire les dimensions de la face supérieure, de laquelle partent les joues et les nervures, qui vont un peu en s'amincissant depuis le bas jusqu'en haut.

terminées ; il les forcent dans des moules en fonte dont les dimensions intérieures sont celles des chevillettes préparées ; et avant de les retirer du moule , ils les exposent pendant une demi-heure à l'action de la vapeur , à une température suffisante pour opérer une espèce de fusion de la résine et de la sève que contient le bois ; laissant ensuite refroidir le moule , le bois a acquis une compression presque permanente , et n'offre plus les inconvénients de gonflement et de contraction suivant les circonstances atmosphériques , comme les chevillettes ordinaires en bois.

Par la compression, le volume de ces chevillettes est réduit à 63 pour 100 de son volume primitif, et la force transversale a augmenté de 50 pour 100.

La tige de ces chevillettes est un tronc de cône dont le diamètre à l'extrémité est de 0^m,001 plus grand que près de la tête; par là, il n'y a pas tendance à ce qu'elle sorte de la traverse. La tête est aussi un tronc de cône qui se loge dans le trou du coussinet, et dont le petit diamètre est égal au plus petit de la tige.

Les chevillettes en fer ont été employées presque exclusivement sur toutes les grandes lignes de chemin de fer qui existent, et malgré leur oxydation, l'efficacité des chevilles en bois n'est pas encore assez bien constatée par l'expérience, pour les rejeter complètement.

334. *Coins.* Ils doivent être d'un modèle bien choisi; le bois doit être sec, de droit fil, compacte et autant que possible exempt de nœuds ou autres défauts. Le bois ne doit pas être débité à la scie, il doit être fendu, et comme alors il n'a pas des formes assez régulières pour être passé au rabot, on obtient une bonne préparation en forçant le coin à coups de marteau dans une matrice en fer, dont le bord tranchant lui donne une forme qui approche de celle qu'il doit avoir définitivement. Les coins valent, à Paris, de 150 à 175 fr. le mille; ils viennent d'être adjugés au prix de 139 fr., pour le chemin de Paris à Lille, et de 148^f,95 pour celui de Lille à la frontière.

Les coins ont ordinairement de 0^m,21 à 0^m,24 de longueur; leurs faces latérales doivent le mieux possible avoir les formes exigées par la joue du coussinet et la face latérale du rail. Le tableau n° 332 donne les dimensions de leur section transversale moyenne sur quelques chemins.

335. *Rails.* La longueur des rails en fonte n'a jamais dépassé 1^m,20; celle des rails en fer est généralement de 4^m,50, au chemin de fer de Paris à Rouen, on l'a portée à 4^m,80.

A longueur égale, les rails en fer coûtent moins que ceux en fonte; cela tient à ce que le fer employé à leur fabrication est de deuxième qualité, au lieu que la fonte doit être de première qualité. De plus, les rails en fer résistent mieux aux chocs et aussi bien aux causes de destruction atmosphériques que ceux en fonte, lesquels, une fois la croûte dure qui les recouvre usée, sont promptement détruits.

La section des rails en fer est ordinairement celle de deux champignons placés aux extrémités d'une même tige; quelquefois les deux champignons sont tout à fait semblables, de sorte que, quand l'un est usé, on peut retourner le rail; mais, alors, le champignon usé coïncide mal avec le coussinet, et il devient difficile de rendre la voie bien unie et bien solide. Quelquefois le champignon inférieur est remplacé par un simple bourrelet; quelquefois encore, il n'y a ni champignon inférieur, ni bourrelet. (Consulter le tableau page 408.)

Des expériences ont été faites à l'usine de Decazeville, dans le but de comparer les résistances des rails à double et à simple champignon; les résultats se sont accordés avec la théorie pour donner, à poids égaux, l'avantage aux rails à double champignon, contrairement à l'opinion de M. Barlow.

Si on considérait un rail comme un solide encastré par ses deux extrémités (172), ce qui aurait lieu si les coussinets étaient parfaitement fixes et maintenaient bien horizontales les parties encastrées,

on pourrait calculer ses dimensions à l'aide de la formule $\frac{RI}{n} = \frac{PL}{8}$

du n° 172, dans laquelle on remplacerait I et n par les valeurs qui conviennent à la figure 22, page 209, si le rail est à double champignon, et par celles qui conviennent à la figure 23, si le rail est à simple champignon. On peut, jusqu'à un certain point, considérer le rail comme étant encastré, pour les parties qui ne correspondent pas à un joint; mais les parties qui y correspondent ne peuvent être considérées que comme un solide encastré par une extrémité et reposant librement sur un appui par l'autre; de sorte que, pour dé-

terminer ses dimensions, il faudrait faire usage des formules n° 171, dans lesquelles I et n auraient, comme ci-dessus, les valeurs qui conviennent à la section du rail. La résistance étant plus faible dans ce dernier cas que dans le premier (171 et 172), comme la section du rail est partout uniforme, quelques ingénieurs ont moins écarté les coussinets des joints de leurs voisins, que ne le sont les autres entre eux. (Observations du tableau page 408.)

Non-seulement il faut que les rails ne se rompent pas sous les charges qu'ils supportent, mais aussi que leurs vibrations ne soient pas trop fortes. On conçoit qu'il est impossible de tenir compte analytiquement de toutes les circonstances dans lesquelles se trouvent les rails pour résister, circonstances qui sont encore compliquées par le mouvement de la charge, et qu'il n'y a que la pratique qui pourra conduire aux formes et aux dimensions les plus convenables à donner aux rails.

D'après les expériences du docteur Barlow, à l'aide d'un déflectomètre de son invention, avec des blocs ou des traverses fermes, des coussinets bien fixés et des joints bien faits, la route elle-même étant solide, le rail est seulement fléchi, à la plus grande vitesse; d'une quantité très-peu supérieure à celle due à une charge en repos, égale à la moitié du poids sur les deux roues; mais, par suite de l'imperfection de ces parties, l'effort peut quelquefois produire une flèche d'environ le double de celle due à la charge en question. Il s'en suit que, jusqu'à ce qu'une plus grande perfection puisse être obtenu dans les rail-ways, on doit adopter une force de barre plus que double de celle nécessaire pour résister à un effort moyen. M. Barlow estime qu'une augmentation de 10 à 20 pour 100 au-dessus du double est suffisante; c'est-à-dire que pour une machine de 12 tonnes, comme le poids est aujourd'hui distribué, un rail résistant à 7 tonnes serait grandement suffisant; et qu'avec un plus grand soin de construction, tel qu'on doit l'attendre maintenant, on pourrait, pour cette même force de rail, employer, avec toute sécurité, des machines de 14 à 16 tonnes.

TABEAU des expériences faites à l'usine de Decazeville, sur la résistance des rails du chemin de fer de Paris à Orléans. Le poids du mètre courant de rail était de 29^k,21. Le rail reposait sur deux appuis de 0^m,05 de largeur, écartés de 1^m,25 d'axe en axe; la charge était appliquée au milieu, sur une largeur de 0^m,07. (Extrait de la Métallurgie de MM. Flachet, Petlet et Barrault.)

CHARGE en tonnes.	RAILS avec riblons et fin-métal.		RAILS en fin-métal pur.		RAILS avec fonte au bois et fin-métal.	
	Flèche.	Flèche con- servée, la charge étant enlevée.	Flèche.	Flèche con- servée, la charge étant enlevée.	Flèche.	Flèche con- servée, la charge étant enlevée.
	m.	m.	m.	m.	m.	m.
8	0.0015	0.0000	0.0010	0.0000	0.0010	0.0000
9	0.0020	0.0000	0.0015	0.0000	0.0015	0.0000
10	0.0025	0.0000	0.0020	0.0000	0.0025	0.0000
11	0.0035	0.0000	0.0040	0.0000	0.0045	0.0000
12	0.0050	0.0000	0.0055	0.0000	0.0060	0.0000
13	0.0065	0.0010	0.0070	0.0015	0.0080	0.0020
14	0.0085	0.0020	0.0090	0.0030	0.0100	0.0035

Les expériences de ce tableau ont été faites avec un appareil qui permettait de laisser agir la charge autant de temps qu'on le désirait, et de l'enlever ensuite pour reconnaître jusqu'à quelle limite le rail, après avoir fléchi, pouvait revenir sur lui-même par son élasticité. Cette limite est entre 14 et 15 tonnes; au delà, le rail fléchit sans revenir aucunement sur lui-même. Les nombres du tableau sont des moyennes d'expériences faites sur des rails du chemin de fer de Paris à Orléans, dont les couvertures (assises supérieure et inférieure des trusses, 337) étaient faites, les premières avec un mélange de fin métal et de riblons; les secondes, avec du fin métal pur; les troisièmes, avec un mélange de fin métal et de fonte au bois, celle-ci remplaçant les riblons (338).

TABLEAU des poids par mètre courant, et des dimensions principales de la section transversale des rails employés sur quelques chemins de fer.

DÉSIGNATION DES CHEMINS.	POIDS des rails, par mètre courant.	ÉCARTEMENT des rails d'appui.	POIDS du coussinet ordinaire n.	LARGEUR du champignon		LARGEUR du bourrelet.	LARGEUR de la tige.	HAUTEUR totale.
				super.	inférieur.			
St.-Ét. à Lyon.	k.	m.	k.	m.	m.	m.	m.	m
<i>Id.</i> à Roanne.	1 ^{er} rail. 13.00	0.90	3.00	0.043 ^a		0.020 ^b	0.014	0.083
<i>Id.</i> à Lyon.	2 ^e rail aband. 30.00	0.90	6.60	0.043 ^h	0.043 ^h		0.039	0.093
<i>Id.</i> <i>Id.</i>	Nouv. rail. 30.00	k	7.00	0.054 ^a	0.054 ^a		0.0175	0.115
Montpellier à Cette.	20.00	0.90	»	0.052		0.023 ^b	0.015	0.100
Paris à Saint-Germain.	30.00	1.12	9.85	0.060	0.060		0.045	0.114
Paris à Versailles (rive g.).	30.00	1.12	9.60	0.062		0.038	0.020	0.115
Alais à Beaucaire.	31.00	1.12	10.00	0.064	0.064		0.015	0.115
Paris à Orléans ^a	30.00	k'	9.20	0.053	0.054		0.016	0.111
Strasbourg à Bâle.	25.00	0.90	8.50	0.060	0.060		0.016	0.095
Paris à Rouen ^a	36.00	k''	9.50	0.064	0.064		0.019	0.128
Londres à Southampton.	37.12	1.20	»	0.067	0.069		0.021	0.126
<i>Id.</i> <i>Id.</i>	33.00	1.20	»	0.064	0.058		0.019	0.124
Grand Junction.	31.00	1.12	»	0.067	0.058		0.018	0.113
<i>Id.</i> <i>Id.</i>	31.00	1.12	»	0.071	0.062		0.016	0.112
Londres à Birmingham.	31.00	1.12	»	0.062	0.062		0.017	0.114
<i>Id.</i> <i>Id.</i>	37.00	1.20	11.70	0.065	0.070		0.021	0.126
Liverpool à Manchester.	37.12	1.20	10.00	0.076	0.061		0.017	0.128
<i>Id.</i> <i>Id.</i>	29.70	0.90	»	0.078	0.067		0.018	0.100
Stockton à Darlington (nouveau rail.	36.00	1.10	»	0.062	0.062		0.0175	0.120
<i>Id.</i> <i>Id.</i>	31.00	1.12	»	0.064		0.037 ^g	0.022	0.124
York et North-Midland.	27.00	0.90	»	0.062		0.029 ^b	0.020	0.113
Brandling Junction.	22.00	0.90	»	0.053		0.028 ^c	0.017	0.096
Chester et Birkenhead.	27.72	0.90	9.45	0.064 ^a		d	0.021	0.124
<i>Id.</i> <i>Id.</i>	27.72	0.90	9.45	0.063		e	0.021	0.124
Newcastle à Carlisle.	24.75	0.90	7.20	0.065 ^a		0.025	0.016	0.110
Clarence.	21.78	0.90	»	0.055 ^a		0.030 ^c	0.014	0.101
Eastern Counties.	37.12	1.20	»	0.062		f	0.032	0.109
Londres à Greenwich.	25.00	0.90	»	0.054		0.028 ^b	0.022	0.108

ⁿ le poids des coussinets de joint est de 2^k,5 à 4^k,00 plus élevé.

^a rails dont la face supérieure du champignon est bombée; pour tous les autres, cette face est plane, plus ou moins arrondie sur les bords. Les anciens rails étaient à champignon bombé, puis on les a abandonnés, et depuis environ deux ans on leur donne la préférence; c'est ainsi que sont faits les nouveaux rails de Saint-Étienne à Lyon, et que l'on fait actuellement ceux des chemins de Paris à Orléans et de Paris à Rouen.

^h champignons faisant une très-faible saillie, chacun d'un seul côté différent de la tige.

^b bourrelets ne faisant saillie que sur une seule face de la tige; les autres sont symétriques par rapport à la tige.

^c bourrelets circulaires ayant pour diamètres les largeurs indiquées au tableau; ils sont placés symétriquement par rapport à la tige.

^d tige unie.

^e tige unie, portant seulement d'un côté, vers le milieu de sa hauteur, une encoche triangulaire de 0^m,004 de profondeur.

^f tige unie portant de chaque côté une encoche en arc de cercle, de 0^m,02 de hauteur sur 0^m,003 de profondeur.

^g il n'y a pas de bourrelet proprement dit, la tige est formée par deux courbes qui vont en s'éloignant, et dont la distance au bas est 0^m,037, et la distance moyenne 0^m,022.

^k 0^m,80 aux joints et 0^m,90 ailleurs.

^{k'} dans les tranchées dont le sol est très-bon, cet écartement est de 1^m,00 aux joints et de 1^m,25 ailleurs; sur les remblais et dans les tranchées dont le sol est douteux, il est de 0^m,75 aux joints et de 1^m,00 ailleurs.

^{k''} 1^m,12 aux joints et 1^m,28 ailleurs.

Relations qui existent, sur les lignes les plus importantes, entre le poids des rails, le poids et l'écartement des coussinets.

POIDS du mètre courant du rail.	ÉCARTEMENT des appuis.	POIDS des coussinets ordinaires.	POIDS des coussinets de joint.
13 à 20 kil.	0 ^m ,90	7 à 8.5 kil.	9 à 11 kil.
25 à 32	0 ^m ,90 à 1 ^m ,12	7 à 10	9 à 14
32 à 37 et au-dessus.	1 ^m ,20	9.5 à 12	12 à 16

Des rails pesant moins de 20 kilog., avec un écartement de 0^m,90 entre les appuis, sont trop légers pour le service des locomotives en usage aujourd'hui sur les principales lignes de chemin de fer (les locomotives pèsent de 8 à 16 tonnes, les plus légères sont montées sur 4 roues et les plus lourdes sur 6); il convient de porter ce poids à 25 kilog. pour un écartement d'appuis de 0^m,90, quand on fait habituellement usage des machines les plus lourdes; c'est le poids des rails du chemin de fer de Strasbourg à Bâle, où les coussinets ordinaires pèsent 8^k,50, ce qui est convenable. Pour les rails du poids de 30 kilog. tels que ceux du chemin de fer de Versailles (rive gauche) et d'Orléans, l'écartement 1^m,12 entre les appuis est convenable, et il convient d'adopter 9^k,20 pour les coussinets. Enfin, pour les rails de 36 à 37 kilog., tels que ceux du chemin de Paris à Rouen, l'écartement de 1^m,20 entre les appuis, et le poids de 9,50 à 10 kilog. pour les coussinets paraissent satisfaisants.

336. *Usure des rails.* D'après des observations faites sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester, la réduction de hauteur des rails est de 1/90 de pouce (0^m,00028) par année. M. Polonceau, sur le chemin de fer de Mulhouse à Thann, ouvert depuis 3 ans 1/2 et sur lequel circulent 4 convois par jour, a trouvé un millimètre d'usure, ce qui fait, comme au chemin de Liverpool, 0^m,00028 par année.

337. *Fabrication des rails.* (Extrait de la Métallurgie de MM. Flachat, Petiet et Barrault.) On emploie à la fabrication des rails tous les fers, pourvu qu'ils soient durs et rigides; ces qualités sont réunies dans la plupart des fers qui proviennent du puddlage des fontes au

coke; du reste, ces fers sont les seuls qui prennent cette destination, ceux au bois sont trop chers (339) et on les réserve pour la fabrication des machines, usage auquel les fers au coke sont impropres.

Les fours employés pour la fabrication des rails sont un peu plus grands que les fours à réchauffer ordinaires; ils doivent contenir 600 à 700 kilog. de fer en 3 ou 5 paquets, suivant le poids des rails que l'on fabrique. Chaque four fait ordinairement, en vingt-quatre heures, 16 chaudes qui produisent de 6 à 8 tonnes de fer fini. Il faut avoir 5 ou 6 fours en feu pour employer convenablement un train de laminoirs conduit par une bonne machine.

En France, on n'emploie que les laminoirs à la fabrication des rails; en Angleterre, dans quelques usines, on soude les paquets au marteau, avant de les passer aux laminoirs: ainsi, au sortir du four, le fer est d'abord porté sous un marteau frontal de 3 à 4 tonnes, qui frappe de 15 à 20 coups; le fer est remis au feu pendant quelques minutes, et seulement envoyé aux laminoirs; cette méthode est excellente et doit diminuer les rails de rebut.

Les rails les plus forts pourraient se faire dans un train de cylindres marchands de 0^m,35 de diamètre et de 1^m,00 de table; mais on préfère des cylindres de 0^m,45 à 0^m,50 de diamètre, portant de 1^m,20 à 1^m,40 de table, et faisant de 55 à 65 révolutions par minute. Un train de cette espèce doit être desservi par une machine de 60 à 80 chevaux.

La confection d'un rail s'effectue généralement dans deux cages, dont la première comprend les cylindres ébaucheurs, et la deuxième les cylindres finisseurs; les ébaucheurs portent au moins 5 cannelures, et les finisseurs en portent 6, dont la forme se rapproche graduellement de celle à donner au rail.

Les rails s'affranchissent à chaud au moyen de scies circulaires; ces scies ont de 0^m,80 à 1^m,20 de diamètre et 0^m,004 d'épaisseur; elle sont maintenues entre deux plateaux en fonte, qui les empêchent de se voiler, et elles trempent dans une bêche remplie d'eau qui les empêche de se détremper trop vite; elles font de 800 à 1000 tours à la minute et coupent un rail en 12 ou 15 secondes; il faut les changer et les visiter toutes les douze heures, et il en faut 3 ou 4 de rechange; leur usure est de 0^m,004 à 0^m,005 par jour.

En France, on coupe une extrémité pendant que le rail est chaud, on laisse refroidir, puis on réchauffe l'autre extrémité que l'on affranchit; en Angleterre, on affranchit les deux extrémités à la fois, à l'aide de deux scies placées à une distance convenable, pendant que le rail est chaud; mais on est moins sûr de l'uniformité de longueur des rails refroidis.

Les trousses destinées à la fabrication des rails sont généralement composées de 7 assises de barres de fer; la première assise est une seule barre de fer n° 2, destinée à former le champignon supérieur; les 5 assises suivantes sont en fer n° 1, et composées chacune de deux barres de fer ayant, pour les plus grandes trousses, l'une 0^m,108 de largeur, et l'autre 0^m,054; ces assises sont superposées de manière à faire croiser les joints; enfin l'assise inférieure est en fer n° 2, et composée, comme l'assise supérieure, d'une seule barre si le rail est à double champignon.

La plus grande dimension que l'on donne aux paquets est de 0^m,162 de largeur sur une épaisseur à peu près égale.

En moyenne, pour 1000 kilog. de rails reçus, on a 100 kilog. de rails rebuts, 100 kilog. de déchet au four, et 125 kilog. de bouts coupés, ce qui fait un total de 1325 kilog. de fer à mettre au four; d'où il s'ensuit que pour obtenir un rail de 4^m,50 de longueur et pesant 30 kilog. le mètre courant, le paquet doit contenir 135 kilog. pour le rail, 17 kilog. pour les bouts coupés et 13 kil. pour le déchet au four, ce qui fait un total de 165 kilog.

Le rapport que l'on admet entre le poids du fer n° 2 employé, et celui du fer brut varie de $\frac{2}{7} = \frac{6}{21}$ à $\frac{1}{3} = \frac{7}{21}$; ainsi, le paquet précédent de 165 kilog. serait composé de 55 à 48 kilog. de fer n° 2, et de 110 à 117 kilog. de fer n° 1. La longueur du paquet serait de 1^m,00 environ; pour un rail de 36 kilog., le paquet aurait environ 1^m,20 de longueur.

338. *Réception des rails.* Les rails doivent être affranchis à la scie. Les 19/20 doivent être de même longueur, à 1 millimètre près, 1 millimètre 1/2 au maximum; 1/20 peut être reçu avec une longueur moindre, mais constante, et de 3^m,75 ou 4 mètres; cette tolérance est accordée afin de diminuer les déchets.

On juge de la qualité du fer par la cassure; toutefois, comme il

serait coûteux de casser un certain nombre de rails, on les essaye de préférence en faisant supporter un poids déterminé à un certain nombre pris au hasard. Le cahier des charges pour la fourniture aux chemins de l'État, stipule que les rails à champignon, placés librement sur deux appuis de 0^m,08 de largeur chacun, et espacés entre eux de 1^m,12 de milieu en milieu, doivent pouvoir supporter, dans le milieu de l'intervalle, une charge de 8000 kilog. sans éprouver de flexion apparente. Quelquefois, lorsqu'on a lieu de craindre que le fer ne soit cassant, on leur fait subir le choc d'un mouton, ou on les laisse tomber d'une certaine hauteur sur des corps durs, de la même manière que l'on essaye les essieux d'artillerie. L'administration des ponts et chaussées n'exige pas l'épreuve par le choc, qui cependant est souvent nécessaire. Malgré ces essais, le fabricant doit encore garantir ses rails pendant un an de service (335).

Comme pour les coussinets (332), la compagnie a à l'usine un agent de son choix, chargé de la surveillance de la fabrication des rails.

339. *Prix des rails.* Pour les chemins de Saint-Germain, de Versailles et d'Orléans, les rails ont coûté 42 fr. les 100 kilog. rendus à Paris, ce qui répond à 35 fr. pris à l'usine; les nouveaux rails du chemin de fer de Saint-Étienne ont été fabriqués à l'usine de Terre-noire, au prix de 36 fr. 75 c. les 100 kilog.; et l'usine reprend les rails usés ou les anciens que l'on remplace, au prix de 24 fr. les 100 kilog. Actuellement le prix des rails est moins élevé; ainsi, ceux du chemin de fer de Montpellier à Nîmes ont été adjugés dernièrement à raison de 32 fr. les 100 kilog., pris à l'usine. Pour le chemin de fer du Nord, au compte du gouvernement, l'adjudication faite le 14 septembre porte, pour le seul lot soumissionné, un prix de 33 fr. 95 c. Les lots, dont le maximum avait été fixé à 32 fr. 20 c. et à 33 fr., n'ont pas été couverts. En Belgique, on a payé les rails 23 fr. 90 c. les 100 kilog. pour les chemins de la section d'Ans à la Meuse. En Angleterre, le prix des rails n'est estimé qu'à 16 fr. les 100 kilog.

En France, le fer employé à la construction des machines, coûte moitié en sus du prix de celui fabriqué en rails.

340. *Pose des rails.* Afin de permettre la dilatation des rails, on

laisse entre leurs extrémités un jeu de 4 ou de 2 millimètres, selon que la pose a lieu en hiver ou en été.

La face supérieure du champignon doit être légèrement inclinée vers l'axe de la voie; c'est en entaillant les traverses sous les patins des coussinets, que l'on obtient ce résultat.

Dans les courbes, on tient le rail extérieur un peu plus élevé que celui intérieur, afin de contre-balancer l'effet de la force centrifuge; sur des chemins à grande vitesse, et pour des rayons de 1200 à 1500 mètres, cette différence de niveau se prend égale à 0^m,02.

Sur les remblais, afin d'obvier au tassement inégal qui a lieu sur la largeur de la voie, on pose le rail voisin de l'entre-voie un peu plus bas que celui du côté du talus; le rail le plus bas se place au niveau général du chemin.

341. *Plaques tournantes.* Les plaques proprement dites, c'est-à-dire les plateaux sur lesquels sont posés les rails, peuvent être en fonte ou en bois; ces dernières coûtent moins d'établissement, mais elles fonctionnent moins bien et exigent plus d'entretien que les premières; aussi, pour les grandes lignes surtout, convient-il d'adopter les plaques en fonte.

Les plaques peuvent ne porter qu'une voie, ou en porter deux à angle droit. Les plaques placées aux extrémités des gares, où ne passent jamais les convois, peuvent être à une voie; mais celles qui se trouvent sur les parties du chemin où les convois circulent, doivent être à deux voies, afin de ne jamais interrompre la ligne.

Le diamètre des plaques varie ordinairement de 4^m,00 à 4^m,50; elle sont supportées par dix ou douze galets de 0^m,30 à 0^m,40 de diamètre, avec une largeur de jante de 0^m,07 environ. Les galets peuvent être fixes et tourner sur leur axe, ou mobiles et rouler entre deux chemins de fer circulaires fixés, l'un à la plaque tournante, l'autre sur le fond de la fosse; on adopte généralement cette dernière disposition, dans laquelle le frottement des axes des galets étant supprimé, ou à peu près, les plaques sont plus faciles à manœuvrer. Les galets mobiles sont maintenus à une distance constante du pivot de la plaque par leurs axes, qui se prolongent jusqu'à ce pivot; deux cercles en fer, l'un à l'intérieur et l'autre

à l'extérieur des galets, ou quelquefois un cercle extérieur seulement, relie les extrémités des axes et maintiennent l'écartement respectif des galets; ces axes sont en fer de 0^m,025 environ de diamètre. Pour que les plaques soient bien assises, il convient de placer les galets près de leur pourtour.

La partie de pivot prise dans la crapaudine, a de 0^m,08 à 0^m,10 de diamètre; il convient que la plaque porte la crapaudine, et que le pivot soit fixé à la plaque de fondation; par là, on n'a pas à craindre que des particules solides viennent s'interposer entre les parties frottantes. Des boulons servent à régler la charge que doit supporter le pivot; la plaque se trouvant ainsi supportée en son milieu et à son pourtour, exige moins d'épaisseur que si elle reposait seulement sur les galets.

342. *Chemins de fer à deux ou à une seule voie.* Pour une circulation de 500 000 tonnes de marchandises et 1 000 000 de voyageurs par an, on établit un chemin à deux voies; lorsque la circulation ne dépasse pas 200 000 tonnes de marchandises et 400 000 voyageurs, le chemin peut être à une seule voie.

Pour un chemin à une seule voie, on achète les terrains pour deux voies, qui peuvent devenir nécessaires par la suite; les travaux d'art s'exécutent pour recevoir deux voies; il n'y a que les tranchées que l'on n'établit que pour une voie.

WAGGONS.

343. *Waggons de terrassement.* Ils sont portés sur quatre roues, les roues sont fixées aux essieux, qui tournent dans des boîtes entièrement en fonte.

Ces waggons doivent être d'une construction simple et d'une solidité en rapport au temps pendant lequel ils doivent servir, et au service auquel on les destine. Leur hauteur ne doit pas dépasser 1^m,60, afin qu'un homme de moyenne taille puisse les charger facilement; elle était de 1^m,53 au chemin de Versailles (rive gauche), et de 1^m,55 au chemin de Saint-Germain. Le poids doit, autant que possible, être réparti uniformément sur les quatre roues.

La caisse est mobile autour d'un axe qui lui permet de verser par une extrémité du waggon ou sur le côté, et quelquefois à vo-

lonté sur le devant ou sur le côté. Elle charge d'environ 30 kilog. moins du côté qu'elle se renverse que de l'autre, afin qu'elle n'oscille pas d'une manière continue, et ne se renverse qu'à la volonté des conducteurs. Leur angle de versement ne doit pas être de moins de 40 à 45°; il convient que les terres les plus adhérentes, les terres argileuses ou humides, se détachent sans trop de difficulté de la caisse renversée; la forme trapézoïdale que l'on donne horizontalement à la caisse, et l'inclinaison de ses parois latérales facilitent encore le déchargement. Il convient aussi que les terres tombent à une certaine distance de la caisse. Sur le chemin de Versailles (rive gauche), les caisses avaient 0^m,39 de profondeur, 2^m,26 de longueur en haut, sur 2^m,06 au fond, et 2^m,10 de largeur en haut, sur 1^m,90 au fond.

Le fond de la caisse doit être très-épais, on le fait en sapin ou en peuplier; les parois latérales se font en chêne ou en sapin.

Toutes les ferrures doivent être bien proportionnées et en fer de bonne qualité.

Les essieux doivent être en fer de première qualité, les fusées sont seules tournées. Dans les waggons anglais, les fusées sont placées en dedans des roues; dans les waggons français, elles sont placées en dehors, ce qui permet, pour un même diamètre de roues, de diminuer celui des essieux. Aux chemins de Versailles (rive gauche) et de Saint-Germain, le diamètre de l'essieu était de 0^m,085 entre les roues, de 0^m,076 aux points de calage des roues, et de 0^m,05 aux fusées; la longueur de l'essieu, entre les deux fusées, était de 1^m,72.

Les roues sont en fonte, d'une seule pièce; elles sont coulées en coquille, afin de tremper en quelque sorte le pourtour de la jante. Le moyeu porte des fentes qui le divisent en autant de secteurs qu'il y a de bras; par cette précaution, le retrait se fait facilement dans toutes les parties de la roue. Ces fentes se remplissent avec des cales en fer, après avoir cerclé le moyeu avec deux frettes en fer posées à chaud.

Les roues doivent avoir un diamètre suffisant pour franchir sans difficulté les pierres ou autres obstacles qui peuvent se trouver sur la voie pendant les terrassements, et pour qu'il ne soit pas trop difficile de mettre les waggons en mouvement. En France, les roues

ont 0^m,50 de diamètre ; en Angleterre, elles ont 0^m,75. Avec ces dernières, il est impossible d'obtenir une hauteur de waggon et un angle de versement de caisse convenables ; elles sont plus coûteuses que celles de 0^m,50, et ne peuvent pas non plus servir pour les waggons de marchandises, après l'exécution de la voie, les roues de ces waggons ayant de 0^m,90 à 1^m,00 de diamètre ; tout ce qu'il serait possible de faire, ce serait de les utiliser pour le transport de la houille, et encore serait-on obligé de les cercler en fer si l'on voulait marcher à de grandes vitesses ; du reste, les roues sont entièrement usées après quelque temps de service aux terrassements. Aux chemins de Versailles (rive gauche) et de Saint-Germain, le diamètre des roues était de 0^m,50, et la largeur de la jante, y compris le rebord, était de 0^m,12.

Au chemin de Versailles (rive gauche) les waggons versant ont coûté 640 fr. 65 c., et ceux versant de côté, 664 fr. 80 ; ces waggons étant traînés par des locomotives, et marchant à une grande vitesse étaient d'une construction solide ; cependant, MM. Perdonnet et Polonceau pensent qu'aujourd'hui on pourrait les établir à meilleur marché. D'après ces auteurs, des waggons traînés par des chevaux ne doivent pas coûter plus de 300 à 400 fr. Les waggons employés sur le chemin de fer de Lille à la frontière belge ont coûté 450 fr. ; ils pouvaient contenir 1^{mc},60 de terre ; ils étaient destinées à descendre sur un plan incliné de 0^m,015, ou à être remorqués par des chevaux.

344. *Waggons de service.* Le nombre des essieux varie de deux à quatre ; les boîtes à graisse sont en fonte, mais toujours munies de coussinets en bronze.

La caisse est toujours montée sur ressorts, quelquefois elle repose sur l'extrémité des ressorts, dont le milieu repose alors directement sur la boîte à graisse ; d'autres fois elle est suspendue à l'extrémité de ces ressorts, qui ne reposent alors sur la boîte à graisse que par l'intermédiaire d'une cheville en fer qui traverse le châssis de la caisse. Dans tous les cas, la boîte à graisse est prise entre les deux branches d'une plaque en fer ou en forte tôle, dite *plaque de garde*, solidement fixée au châssis du waggon et qui maintient invariable l'écartement des essieux.

Les waggons, à part quelques exceptions concernant les waggons

destinés au transport des marchandises, portent des ressorts destinés à amortir les chocs ou les secousses des différentes voitures d'un convoi les unes sur les autres, ou contre les obstacles qu'elles peuvent heurter.

Les essieux doivent être exempts d'angles rentrants vifs, les parties de différents diamètres doivent être raccordées par des congés arrondis. Comme on a remarqué que l'altération des essieux brisés est moins sensible dans le voisinage des clavettes que dans les parties qui en sont éloignées, on cale les roues sur les essieux au moyen de trois clavettes, quoiqu'une puisse suffire.

Les fusées des essieux sont presque toujours placées en dehors des roues, ce qui permet d'en réduire le diamètre et par suite la résistance due à leur frottement ; il est bon de les tenir un peu fortes, afin de pouvoir, au besoin, les remettre sur le tour. On a remarqué que les coussinets s'usaient moins rapidement lorsqu'on donnait une grande hauteur aux collets des fusées, et qu'on en rendait la face intérieure plane.

Au chemin de fer de Strasbourg à Bâle, les fusées ont 0^m,065 de diamètre, et on ne leur donne pas au delà de 0^m,10 de longueur, à moins que des dispositions particulières ne l'exigent. Aux chemins de fer de Versailles (rive droite) et de Saint-Germain, les roues ayant 1^m,00 de diamètre, les essieux ont 0^m,075 de diamètre, 0^m,09 à l'endroit du calage des roues, et de 0^m,06 à 0^m,065 environ aux fusées ; la longueur des fusées, entre les collets, est de 0^m,08 environ.

Les nouveaux essieux du chemin de fer de Strasbourg à Bâle sont fabriqués en corroyant sept barres de fer plat de 0^m,13 de largeur, sur 0^m,027 d'épaisseur ; les essieux sont amenés, toujours au marteau et sans faire usage de l'étampe, aux dimensions qu'il convient de leur donner pour les mettre sur le tour ; c'est généralement à cet état que les forges les livrent aux administrations des chemins de fer. Le fer employé à la fabrication des essieux doit avoir été préparé au charbon de bois et forgé au marteau.

Les roues ont de 0^m,90 à 1^m,00 de diamètre. Deux roues montées sur le même essieu doivent avoir le même diamètre, on ne doit tolérer qu'une différence de 0^m,001 ; car autrement, à cause de la fixité des roues sur l'essieu, une des roues produirait un frottement de glissement considérable sur le rail.

Aux chemins de Versailles (rive droite) et de Saint-Germain, des roues ayant 1 mètre de diamètre, ont 0^m,12 de largeur de jante, y compris le rebord. Dans les anciennes roues anglaises, la largeur de la jante n'était que de 0^m,10; mais dans les nouveaux modèles on l'a portée à 0^m,13, afin de diminuer le frottement du rebord de la roue contre le rail; c'est la largeur des roues des dernières voitures du chemin d'Orléans.

Les rails, ainsi que la partie du pourtour de la roue à laquelle est fixé le rebord, sont le plus souvent en fer malléable; quelquefois cependant, mais pour le transport des marchandises seulement, ils sont coulés avec le moyeu, comme pour les waggons de terrassement (343).

La conicité donnée au pourtour de la jante, dépend du rayon des courbes qui se trouvent sur le chemin et de la vitesse de circulation. Sur le chemin de Londres à Birmingham, pour un rayon d'au moins 1000 mètres, à l'exception d'une courbe qui est d'un rayon plus petit, l'inclinaison du bandage est de 1/13; sur le chemin de Versailles (rive gauche), le rayon minimum étant de 1200 mètres, cette inclinaison est de 1/12; et sur le chemin de Bâle à Strasbourg, où les courbes sont en petit nombre et d'un très-grand rayon, cette inclinaison est de 1/25. Pour les voitures, les bandages doivent avoir, à l'état brut, de 0^m,035 à 0^m,040 d'épaisseur, dans la partie la plus mince; les bandages de locomotives ont de 0^m,045 à 0^m,050.

Le rebord de la jante doit être fort et calculé de manière qu'il soit usé en même temps que la jante, avec laquelle il se raccorde par un congé très-allongé. Comme la jante se creuse au milieu, il convient de ménager un chanfrein de 0^m,01 de largeur, sur tout son pourtour extérieur (le rebord est à l'intérieur de la voie).

Le bandage se compose quelquefois de deux cercles superposés, un qui s'appuie sur les rais et un autre qui porte le rebord; sur tous les chemins anglais, sur les chemins belges et sur celui de Strasbourg à Bâle, le bandage est un seul cercle qui porte le rebord; ces dernières roues sont plus économiques et font un excellent usage.

Les rais sont en fer plat, de 0^m,08 à 0^m,09 de largeur, sur 0^m,010 à 0^m,015 d'épaisseur, employé de manière à former ordinairement des triangles dont les sommets se logent dans le moyeu, et dont

les bases s'appuient contre la jante; quelquefois les trois côtés de ces triangles sont curvilignes, ce qui augmente l'élasticité; d'autres fois la base seule est courbe. Les cercles doivent être tournés à l'intérieur comme à l'extérieur; autrement il n'y aurait contact qu'en quelques points et les roues se déformeraient; il convient même de préparer à la grosse lime la face des rais qui repose sur le cercle. Les bandes à rebord sont fixées au pourtour de la roue par des rivets coniques qui traversent tout le bandage; en Belgique, on emploie de préférence des vis qui ne pénètrent que jusqu'à une certaine profondeur dans le bandage.

Une roue bien faite, lorsqu'on la frappe sur les rais avec une baguette en fer, rend un son vibrant, analogue à celui d'une cloche.

RÉSISTANCES AU MOUVEMENT DES WAGGONS.

345. *Résistance due au frottement des essieux.* La résistance que ce frottement oppose directement à la marche d'un waggon est exprimée par

$$R_1 = Pf \frac{d}{D}. \quad (355)$$

- R_1 résistance que le frottement des essieux oppose directement à la traction qui sollicite le waggon;
 P pression des fusées sur les boîtes;
 $f=0,05$ coefficient du frottement des essieux dans leurs boîtes, le graissage se faisant très-bien et d'une manière continue (39);
 d diamètre des fusées des essieux;
 D diamètre des roues;

Le rapport $\frac{d}{D}$ varie de 1/13 à 1/20, il est généralement de 1/15 pour les waggons de service (344).

346. *Résistance due au frottement qui s'exerce au pourtour des roues.* Cette résistance étant représentée par R_2 , on a

$$R_2 = (P + p)f'. \quad (355)$$

- P poids qui repose sur les roues;
 p poids des roues et essieux;
 $(P + p)$ poids total du waggon, il varie de 4 à 6 tonneaux;
 $f'=0,00125$ à $0,001$ coefficient du frottement de roulement des roues sur les rails (36).

347. *Résistance que l'air oppose au mouvement des waggons.* Des expériences faites à Brest par M. Thibault, lieutenant de vaisseau, il résulte que la résistance de l'air contre la base d'un prisme droit à base carrée, dont les arêtes latérales sont placées dans la direction du mouvement, est exprimée par

$$R_3 = \theta_3 AV^2. \quad (a)$$

R_3 résistance que l'air oppose au mouvement du prisme, en kilogrammes;
 $\theta = 0,0625$ coefficient constant;
 ϵ coefficient qui dépend du rapport de la longueur du prisme au côté de sa base:
 Si la longueur du prisme est égale à trois fois le côté de la base. $\epsilon = 1,10$
 Si elle lui est égale, c'est-à-dire si le solide est un cube. $\epsilon = 1,17$
 Si elle est beaucoup plus petite (plaque mince). $\epsilon = 1,43$
 A base du prisme en mètres carrés;
 V vitesse du prisme par rapport à l'air, en mètres par seconde.

Des expériences de M. Thibault, il résulte aussi qu'en plaçant deux surfaces carrées, se masquant exactement, l'une derrière l'autre, la résistance de l'air contre la seconde surface est nulle quand elle n'est séparée de la première que d'un très-petit espace, et qu'elle est les $\frac{7}{10}$ de celle de la première, quand l'écartement est égal au côté de la surface. Si la seconde surface avait une section plus grande que la première, on pourrait calculer la résistance de l'air, en remarquant qu'une partie de cette surface est frappée directement par l'air, et que l'autre partie est masquée par la première comme dans le cas précédent.

Des expériences de M. Thibault, il résulte encore qu'une surface A , faisant un angle α avec la direction du mouvement, la résistance de l'air est égale à celle qui aurait lieu contre la projection $A \sin \alpha$, de la surface A sur un plan perpendiculaire à la direction du mouvement.

Monsieur de Pambour, appliquant les résultats de M. Thibault et ceux obtenus antérieurement par Dubuat, à la résistance que l'air oppose au mouvement des convois sur les chemins de fer, arrive aux résultats suivants.

Surface qu'un waggon présente au choc de l'air, elle se compose :

	Pied car.
1° De la surface du chargement, qui est très-variable.	"
2° De la surface de projection du waggon proprement dit, surface qui est ordinairement, pour un waggon à simple plate-forme et pour une largeur de voie de 4 pieds 8 pouces $\frac{1}{2}$ anglais.	14,33
3° De la surface due à la résistance que les rais des roues éprouvent à se mouvoir; M. de Pambour, en remarquant que tous les points des rais n'ont pas la même vitesse, estime cette surface à 1,25 pied carré pour une roue ordinaire de 3 pieds de diamètre; ce qui fait, pour les deux roues de devant, 2,50 pieds carrés; et comme chaque rais masque le suivant, il réduit la surface précédente d'un tiers, ce qui donne.	1,67
4° De la surface due à ce que les roues, les essieux, les ressorts et les boltes à graisse de derrière ne sont pas masqués complètement par les mêmes pièces de devant. M. de Pambour estime la surface de ces pièces, y compris celle de 2,50 pieds due au mouvement des rais, à 7,03 pieds carrés, et en la réduisant d'un tiers, pour tenir compte de ce que ces pièces sont en partie préservées par les pièces semblables de devant, il obtient.	4,69

La surface totale des plus hauts waggons, y compris celle de la charge, est estimée, pour les voies de 5 pieds ($1^m,524$) environ de largeur, à 70 ou 74
 Pour les diligences, cette surface totale est de. 60 à 64

Ainsi, pour un waggon offrant une surface directe de 70 pieds carrés = 6,503 mètres carrés à l'action de l'air, la formule (a) devient, en remarquant que pour un waggon chargé, la longueur étant moyennement égale à une fois et demie la racine carrée de la surface antérieure, il convient de faire $\epsilon = 1,15$,

$$R_3 = 0,0625 \times 1,15 \times 6,503V^2.$$

Pour un convoi de plusieurs waggons, il faut, d'après ce qui précède, compter, pour la surface directe opposée à l'air, 70 pieds carrés pour le premier waggon, plus $4,69 \times 2 = 9,38$ pieds carrés pour les pièces de charonnage de chacun des waggons suivants. De plus, les waggons étant séparés entre eux de 2 pieds environ, l'air exerce encore une certaine résistance sur la face antérieure de chacun des waggons qui suivent le premier. M. de Pambour, de concert avec M. E. Woods, ingénieur du chemin de fer de Liverpool à Manchester, pour déterminer cette résistance, a opéré sur 5 waggons, qu'il a fait descendre sur un plan incliné, d'abord séparément, et ensuite réunis en convoi, et il a trouvé cette résistance égale à

celle due à trois pieds carrés de surface directe, ce qui fait par waggon intermédiaire $3/4 = 0,75$ pied carré. Cette surface, ajoutée à celle due aux pièces de charronnage, donne 10,13 pieds carrés, soit 10 pieds carrés de surface directe par waggon, non compris le premier. Dans ces expériences, la longueur du prisme formé par les 5 waggons réunis étant égale à 7 fois la largeur, M. de Pambour, pour déterminer la résistance due à l'air, a pris, conformément aux observations de Dubuat, $\epsilon = 1,07$; pour les waggons séparés, il a fait $\epsilon = 1,15$.

D'après ce qui précède, pour un convoi de waggons, il faudra donc prendre pour surface directe opposée à l'air, d'abord 70 pieds carrés pour le premier waggon, et ensuite 10 pieds carrés pris autant de fois qu'il y a de waggons placés à la suite du premier; dans le nombre des waggons, on comprend la locomotive et son tender. Pour un convoi de diligences, il suffirait de remplacer 70 pieds carrés par 60 dans l'évaluation précédente. La surface ainsi déterminée, et transformée en mètres carrés, étant substituée dans la formule (a), on en conclura la résistance due à l'air, en faisant ϵ égal à 1,15 pour un waggon, à 1,07 pour 5 waggons, à 1,05 pour 15, et à 1,04 pour 25.

M. de Pambour estime que si les roues, au lieu d'avoir, comme elles ont ordinairement, 3 pieds de diamètre, en avaient 5, il faudrait augmenter la surface directe opposée à l'air, de 3 pieds carrés par waggon.

348. *Application.* Soit à déterminer la résistance due à l'air, pour un convoi composé de 15 waggons, la surface directe opposée à l'air par le plus grand waggon étant de 70 pieds carrés (6,503 mètres carrés), la surface directe due à chacun des autres waggons étant de 10 pieds carrés (0^m,929 mètres carrés), et la vitesse étant de 40 kilomètres à l'heure, ce qui fait une vitesse de 11^m,11 par seconde.

Remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule (a) (347), on a

$$R_3 = 0,0625 \times 1,05(6,503 + 0,929 \times 14) 11,11 \times 11,11 = 158 \text{ kilog.}$$

349. *Résistance totale à la traction, sur un chemin horizontal et*

en ligne droite. Représentant cette résistance par R, on a, d'après les numéros précédents, (345), (346) et (347), et en conservant aux lettres les mêmes significations que dans ces numéros,

$$R = P f \frac{d}{D} + (P + p) f' + \theta \epsilon A V^2.$$

350. *Résistance totale à la traction, sur un chemin en pente et en ligne droite.* Cette résistance est (n^{os} 345, 346 et 347)

$$P \cos \alpha f \frac{d}{D} + (P + p) \cos \alpha f' + \theta \epsilon A V^2 \pm (P + p) \sin \alpha.$$

- α angle que fait le plan incliné avec l'horizon;
 $P \cos \alpha$ composante du poids P, normale au plan incliné; c'est la pression des fusées sur leurs boîtes;
 $(P + p) \cos \alpha$ composante du poids total des waggons, normale au plan incliné; c'est la pression des roues sur les rails;
 $(P + p) \sin \alpha$ composante du poids du convoi, parallèle au plan incliné; elle est positive ou négative suivant que le convoi monte ou descend.

Pour les cas ordinaires des chemins de fer, on peut, sans erreur sensible, supposer $\cos \alpha = 1$, et, alors, l'expression de la résistance à la traction, sur un chemin en pente et en ligne droite, devient

$$P f \frac{d}{D} + (P + p) f' + \theta \epsilon A V^2 \pm (P + p) \sin \alpha.$$

Il suffit que la pente du chemin soit de $\frac{1}{200}$, pour que le convoi descende seul, et lorsqu'elle atteint $\frac{1}{50}$, un convoi chargé descendant peut faire remonter un même convoi vide.

351. *Résistances dues aux courbes.* Outre les résistances précédentes (n^{os} 349 et 350), la courbure de la voie donne naissance à trois frottements de glissement.

Le premier de ces frottements est dû à la fixité des roues sur l'essieu; une des roues glisse sur les rails, sur une distance égale à la différence de longueur des deux courbes qui composent la voie. Le travail absorbé par ce frottement est, pour l'unité de poids, et en remplaçant la différence de longueur des courbes par sa valeur en fonction de a , r et e ,

$$f \frac{2a}{r} e.$$

- a demi-largeur de la voie ou demi-longueur de l'essieu; on a ordinairement $a = 0^m,75$ (n^o 319);

r rayon de l'arc suivi par le centre de gravité du waggon ;
 e longueur de l'arc parcouru par le centre de gravité du waggon ;
 f'' coefficient de frottement de fer sur fer, à l'état où se trouvent les jantes des roues et les rails; il est égal à 0,3 d'après Coulomb, et à 0,192 d'après M. Morin.

Divisant le travail précédent par l'espace parcouru, on a la résistance due au frottement précédent, qui devient

$$f'' \frac{2a}{r}.$$

Pour un waggon, cette résistance devient, en remarquant que la moitié du poids total $P + p$ du waggon repose sur les roues qui glissent,

$$(P+p)f'' \frac{a}{r}.$$

La deuxième frottement provient de ce que le parallélisme des essieux oblige le waggon de glisser sur les rails, en tournant autour de son centre de gravité pour changer de direction. Ce frottement et le précédent combinés absorbent, pour tout le parcours de l'arc, et pour chaque unité de poids du waggon, un travail représenté par

$$f' \sqrt{a^2 + b^2} \times \frac{e}{r}.$$

Pour un waggon, ce travail est

$$(P+p)f' \sqrt{a^2 + b^2} \times \frac{e}{r}. \quad (1)$$

Divisant par e , on aura la résistance qui s'oppose directement au mouvement du waggon, et qui est

$$(P+p)f' \sqrt{a^2 + b^2} \times \frac{1}{r}. \quad (2)$$

b demi-distance des essieux, ordinairement $b = 0^m,75$.

L'expression (1) fait voir que le travail absorbé par le glissement dû à la fixité des roues et au parallélisme des essieux dépend de la longueur des essieux et de leur écartement, et qu'il est proportionnel à $\frac{e}{r}$, c'est-à-dire, au supplément de l'angle que font

entre elles les deux parties de chemin raccourcies; mais qu'il est indépendant de r pour une même valeur de l'angle $\frac{e}{r}$. L'expression

(2) fait voir que la résistance à la traction dépend également de a et de b , mais qu'elle est en raison inverse de r . Ainsi, pour tourner d'un certain angle, le travail absorbé par le frottement en question est indépendant de r , mais la résistance est en raison inverse de r ; cette dernière cause, à part les accidents que peut causer un trop petit rayon adopté pour les courbes, est ce qui fait que sur les chemins à grande vitesse, la valeur de r est généralement supérieure à 1000 mètres.

Le troisième frottement est dû à la force centrifuge, qui fait frotter les rebords des roues contre les rails.

Théoriquement, la force centrifuge est moindre que la résistance due au frottement des waggon sur les rails, même pour les vitesses en usage, et pour un rayon de 500 mètres, qui est le plus petit employé dans la construction des chemins de fer; ainsi, le rebord des roues ne devrait pas frotter contre les rails. C'est en effet ce qui aurait lieu, si les waggon ne sautillaient pas en marchant; mais comme cet effet se produit toujours, il en résulte un frottement qui est exprimé, pour un waggon, par

$$\frac{P+p}{g} \times \frac{V^2}{r} f''' \frac{2c}{D}. \quad (79 \text{ et } 353)$$

V vitesse du centre de gravité du waggon, en mètres par seconde;
 D diamètre de la roue, pris à l'intérieur du rebord;
 c distance horizontale de la verticale passant par le centre de gravité de la roue, au point où la partie frottante du rebord de la roue commence à toucher le rail;
 f''' coefficient du frottement du rebord de la roue contre le rail.

352. Résistance totale qui s'oppose au mouvement d'un waggon sur une courbe et en pente. Cette résistance est égale à la somme de toutes les résistances précédentes (n° 350 et 351); elle est donc

$$R = Pf \frac{d}{D} + (P+p)f' + \theta z AV^2 + (P+p)f'' \sqrt{a^2 + b^2} \frac{1}{r} + \frac{(P+p)}{g} \times \frac{V^2}{r} f''' \frac{2c}{D} \pm (P+p) \sin \alpha.$$

f = 0,05 (n° 345);

$\frac{d}{D}$ = de 1/13 à 1/20, c'est ordinairement 1/15 (n° 345);

f' = 0,001 (n° 346);

θ et ϵ (n° 347) ;

$f'' = 0,03$ d'après Coulomb, et $0,192$ d'après M. Morin (351) ;

$(P+p) =$ de 4 à 6 tonneaux pour un waggon ;

$a = b = 0^m,75$. $\sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{1,12} = 1$ à peu près (351) ;

f''' n'a pas encore été déterminé par des expériences assez concluantes pour lui assigner une valeur exacte (351 et 353).

353. *Résultats des expériences faites sur le chemin de Roanne à Andrisieux, pour déterminer le frottement dû à la force centrifuge (351).*

Vitesse du waggon, 4 lieues à l'heure ;

Rayon de la courbe, 100 mètres ;

Traction au dynamomètre, $0,033 (P+p)$.

Soit x , le frottement dû à la force centrifuge.

Remplaçant les lettres par leurs valeurs dans la formule, n° 352, elle donne, en faisant la résistance due au frottement des essieux et au pourtour des roues égale à $0,005 (P+p)$, comme cela a lieu ordinairement sur les chemins de fer (345 et 346), et en négligeant la résistance de l'air, qui n'est, à la vitesse de 4 mètres par seconde, et quand il n'y a qu'un waggon, que de $1^k,15$ par mètre carré de la surface opposée directement à l'air (347),

$$0,033 (P+p) = 0,005 (P+p) + \frac{0,3\sqrt{1,12}}{100} (P+p) + x,$$

d'où l'on tire

$$x = 0,02482 (P+p),$$

résistance égale à trois fois celle due aux autres frottements.

354. *Moyens pour déterminer le frottement total d'un waggon.*

Le premier moyen consiste à faire descendre librement un waggon sur un plan incliné, et à constater l'espace parcouru pendant un certain temps.

Le waggon est soumis à l'action de deux forces, l'une accélératrice, due à l'action de la pesanteur, et qui est $(P+p) \sin \alpha$, composante du poids du waggon parallèle au plan incliné ; l'autre retardatrice, qui est le frottement du waggon. Sous l'influence de ces forces, le waggon prend un mouvement accéléré (6 et 7), et après un certain temps on a, en remarquant que, dans ce cas, la vitesse

accélétratrice est à la vitesse accélétratrice g due à la pesanteur, dans le rapport de $(P+p) \sin \alpha - x$ à $P+p$,

$$E = \frac{1}{2} g \frac{(P+p) \sin \alpha - x}{P+p} T^2,$$

d'où

$$x = (P+p) \sin \alpha - \frac{2E}{gT^2} (P+p).$$

Cette valeur de x serait exacte, si tout le système n'était doué que d'un simple mouvement de translation ; mais les roues et les essieux possédant, outre le mouvement de translation, un mouvement de rotation, il en résulte que la masse effective, soumise au mouvement de translation, se compose de celle dont le poids est $P+p$, plus d'une masse, laquelle appliquée à la circonférence de la roue, et ayant par conséquent la vitesse de translation, aurait, par rapport à l'axe des roues, le même moment d'inertie que les roues et les essieux. Si les roues étaient des cylindres pleins de matière homogène, c'est-à-dire si les essieux remplaçaient exactement les vides laissés entre les rais, on aurait théoriquement cette masse fictive (75) ; des expériences directes de M. N. Wood, sur des essieux garnis seulement de leurs roues, ont donné $0,54$ pour le rapport de cette masse fictive à la masse des roues et des essieux. La masse effective mise en mouvement par la force motrice $(P+p) \sin \alpha - x$, au lieu d'être $\frac{P+p}{g}$, étant $\frac{P+p+0,54p}{g}$, la vitesse accélétratrice réelle est dans le rapport inverse de ces masses, et devient $g \frac{(P+p) \sin \alpha - x}{P+p} \times \frac{P+p}{P+1,54p}$; on a donc, en simplifiant,

$$E = \frac{1}{2} g \frac{(P+p) \sin \alpha - x}{P+1,54p} T^2, \quad (a)$$

d'où l'on tire

$$x = (P+p) \sin \alpha - \frac{2E}{gT^2} (P+1,54p).$$

On peut estimer p à 850 kilog. par waggon ordinaire.

Dans cette valeur de x , se trouve encore comprise la résistance

de l'air, résistance facile à calculer, d'après ce qui a été dit (347), pour le cas d'un mouvement uniforme, régime que prennent les waggons ordinaires après quelques tours de roues sur un plan incliné au centième.

- E espace parcouru pendant le temps T qu'a duré l'observation;
 P poids du waggon et de sa charge;
 p poids des roues et essieux;
 α angle que fait le plan incliné avec l'horizon;
 x résistance totale qui s'oppose au mouvement du waggon.

Le deuxième moyen, pour déterminer le frottement total d'un waggon, consiste à faire marcher librement ce waggon sur deux plans inclinés en sens inverse, et se raccordant par une courbe, à leur partie inférieure.

Si toutes les résistances qui s'opposent au mouvement du waggon étaient nulles, le waggon, après avoir librement descendu d'une certaine hauteur verticale sur une rampe, remonterait à la même hauteur sur l'autre. Soit :

- H la descente verticale du waggon sur l'un des plans, et α l'inclinaison de ce plan;
 h la montée verticale du waggon sur l'autre plan, et α' l'inclinaison de ce plan;
 E l'espace parcouru sur le premier plan;
 E' l'espace parcouru sur le second plan, quand le waggon cesse de monter;
 (P + p) le poids total du waggon et de ses roues;
 x la résistance totale qui s'oppose au mouvement du waggon.

L'accélération de vitesse sur le premier plan est, en supposant uniforme la résistance de l'air, et en remarquant que la force (P + p) sin $\alpha - x$ sollicite, comme dans le cas précédent, une masse effective P + 1,54 p,

$$g \frac{(P + p) \sin \alpha - x}{P + 1,54 p};$$

et la vitesse que possède le waggon quand il arrive au bas de ce plan est (n° 7, en remplaçant dans l'équation $V = gt$, t par sa valeur tirée de l'équation $E = \frac{1}{2} gt^2$)

$$V = \sqrt{2g \frac{(P + p) \sin \alpha - x}{P + 1,54 p} E}.$$

Sur le second plan, l'accélération de vitesse retardatrice est, en remarquant que la force (P + p) sin $\alpha' - x$ sollicite la même masse effective P + 1,54 p, mais en sens contraire du mouvement,

$$g \frac{(P + p) \sin \alpha' - x}{P + 1,54 p};$$

et quand le waggon a parcouru l'espace E', la perte de vitesse est

$$V' = \sqrt{2g \frac{(P + p) \sin \alpha' - x}{P + 1,54 p} E'}.$$

Or, comme le waggon cesse de monter, on doit avoir $V = V'$, c'est-à-dire,

$$\sqrt{2g \frac{(P + p) \sin \alpha - x}{P + 1,54 p} E} = \sqrt{2g \frac{(P + p) \sin \alpha' - x}{P + 1,54 p} E'},$$

d'où l'on tire, en remarquant que l'on a $E \sin \alpha = H$ et $E' \sin \alpha' = h$,

$$x = \frac{(P + p)(H - h)}{E - E'}.$$

M. N. Wood a trouvé par expérience que la vitesse ne dépassant pas 4 lieues à l'heure, la valeur de x , résistance de l'air comprise, variait entre $\frac{1}{200}$ et $\frac{1}{250}$ (de 0,005 à 0,004) de P + p. pour un rapport $\frac{d}{D}$ du diamètre de la fusée à celui de la roue comprise entre 1/13 et 1/15. M. de Pambour est arrivé à peu près aux mêmes résultats; il a trouvé que la valeur de x était, déduction faite de la résistance de l'air, de 2^k,69 par tonneau brut, c'est-à-dire de $\frac{1}{373}$ (P + p), pour des roues de 3 pieds (0^m,915) de diamètre, et des fusées de 1 pouce 3/4 (0^m,045), c'est-à-dire pour un rapport $\frac{d}{D} = \frac{1}{20}$, les boîtes étant garnies de coussinets en bronze et graissées d'une manière continue.

355. Expériences de M. N. Wood. Cet expérimentateur, en enlevant les caisses des waggons, a supprimé le frottement des essieux dans

leurs boîtes et en grande partie la résistance de l'air, et il a trouvé en lançant ces essieux, plus ou moins chargés, sur des plans inclinés, que la résistance au pourtour des roues était à peu près 0,001 du poids total (346).

M. Wood a encore déterminé directement le frottement des essieux dans leurs boîtes, en les faisant tourner après les avoir chargés. Il a reconnu que la charge de l'essieu ne devait pas dépasser 6^h,33 par centimètre carré de sa surface de contact avec ses boîtes; au-dessus de cette limite, la graisse est chassée et les surfaces frottantes s'entament. Il a aussi reconnu que la boîte étant en très-bon état, et la graisse bien préparée et bien distribuée, le frottement n'était que le $\frac{1}{60}$ de la charge, au lieu du $\frac{1}{8}$ qu'a donné Coulomb (39); en pratique, on admet qu'il est $\frac{1}{20}$ (345).

356. TABLEAU des résistances totales au mouvement, obtenues par M. Lardener, en lançant des waggons sur des plans diversement inclinés. Ces résistances sont égales à $(P+p) \sin \alpha$ (n° 350), quand la vitesse des waggons est devenue uniforme.

DÉSIGNATION DES VENTS.	PENTE.	RÉSISTANCE.	VITESSE uniforme en kilomètres par heure.
Calme parfait.	1/250	1/250 (P+p)	30
Id.	1/89	1/89 (P+p)	54
Vent derrière.	1/96	1/96 (P+p)	54
Id.	1/265	1/265 (P+p)	30
Id.	1/167	1/167 (P+p)	38
Vent de bout.	1/96	1/96 (P+p)	45
Vent de côté.	1/177	1/177 (P+p)	27

Le vent de côté est le cas le plus défavorable.

357. Plans automoteurs. Sur ces plans, pour obtenir la résistance due au frottement de la corde et à sa roideur, et au frottement des axes du tambour, des petites poulies et des rouleaux qui supportent la corde, on a fait descendre librement un waggon chargé, qui

en faisait remonter un même vide, et on a tiré cette résistance de la formule suivante, établie de la même manière que celle (α) n° 354,

$$E = \frac{1}{2}g \frac{(P+p+c) \sin \alpha - (P+p) \sin \alpha - \frac{P+p+c+P+p}{240} - X}{P+p+c+P+p+\pi+0,54(2p+p')} T^2.$$

Dans cette formule, tout est connu à l'exception de X.

- X résistance cherchée;
- E espace parcouru pendant le temps T, qu'a duré l'expérience;
- P poids du waggon descendant, on suppose qu'il est le même pour le waggon montant;
- p poids des roues de chaque waggon;
- p' poids des pièces qui tournent, autres que les roues des waggons;
- c charge du waggon descendant;
- 1/240 coefficient de la résistance à la traction des waggons sur le chemin de fer;
- π poids de la corde;
- 0,54 (2p+p') poids des masses fictives, lesquelles appliquées à la circonférence des pièces qui tournent, roues, tambour, poulies et rouleaux, et ayant par conséquent la vitesse des waggons, auraient, par rapport aux axes de ces pièces, le même moment d'inertie que ces pièces elles mêmes (354).

M. N. Wood, en opérant ainsi, a trouvé $X = \text{de } \frac{1}{4} \text{ à } \frac{1}{3} (p' + \pi)$, cette résistance étant appliquée sur les tourillons des petites poulies; et comme le diamètre de ces tourillons est le $\frac{1}{12}$ de celui des poulies, cette résistance, appliquée au pourtour des poulies, est de $\frac{1}{36} (p' + \pi)$. D'autres expérimentateurs ont trouvé $\frac{1}{22}$ et $\frac{1}{24}$ de $(p' + \pi)$, mais les expériences ont été faites avec moins de soin; du reste, il serait très-convenable de reprendre ces expériences et de tenir compte de la résistance de l'air, qu'on a négligée.

358. Charge que peut traîner un cheval sur un chemin de fer. Supposant que la résistance à la traction des waggons remorqués par des chevaux est $\frac{1}{200}$ de la charge brute (charge et waggons) (354), la charge brute traînée par un cheval est donnée par la formule

$$\frac{X}{200} = 70 \text{ kilog.}, \text{ d'où } X = 14000 \text{ kilog.}$$

X charge brute traînée;
70^k traction moyenne d'un cheval travaillant 10 heures par jour et parcourant 3240 mètres par heure (20).

Sur une rampe, la charge que peut traîner un cheval est donnée par la formule

$$\frac{X}{200} \pm X \sin. \alpha \pm \pi \sin \alpha = 70 \text{ k.}$$

α angle que fait le plan incliné avec l'horizon;
 π poids du cheval;
X sin α et π sin α , composantes, parallèles au plan incliné, de la charge traînée et du poids du cheval; elles sont positives ou négatives suivant qu'on monte ou qu'on descend (350).

359. *Machines fixes.* A l'origine des chemins de fer, on faisait usage de machines fixes pour remorquer les convois; elles étaient espacées entre elles de 2000 mètres, et des cordes, auxquelles on fixait les convois, allaient de l'une à l'autre.

MACHINES LOCOMOTIVES.

360. *Machines locomotives.* Elles sont à moyenne, ou à une faible haute pression (276), sans condensation. Depuis peu, M. Meyer est parvenu à leur appliquer une détente variable; avant, on n'avait fait que donner aux tiroirs une légère avance; c'est-à-dire qu'on leur faisait, successivement, intercepter l'introduction de la vapeur sur le piston, ouvrir l'échappement de vapeur, et introduire la vapeur sur la face opposée du piston, un peu avant que celui-ci arrivât à la fin de sa course. L'avance des tiroirs, c'est-à-dire la quantité dont ils ont dépassé le milieu de leur course quand les pistons arrivent à la fin de la leur, varie de 1/8 à 5/8 de pouce anglais (de 0^m,003 à 0^m,015), elle est généralement de 1/4 de pouce (0^m,006). La course des tiroirs est d'environ 3 pouces (0^m,076).

361. *Pression de la vapeur.* La pression de la vapeur dans la chaudière est généralement de 50 livres par pouce carré (mesures anglaises) ou de 3^k,51 par centimètre carré, non compris 14,7 livres pour la pression atmosphérique, ce qui fait 64,7 livres par pouce carré

ou 4^k,55 par centimètre carré, cela correspond à 4,4 atmosphères de pression absolue (202). Dans le cylindre, la pression est toujours plus faible que dans la chaudière; pour de petites charges et de grandes vitesses, elle n'en est quelquefois que le 1/10; mais pour les vitesses ordinaires de 8 à 10 lieues à l'heure, elle est généralement réduite de 50 livres à 30 livres en moyenne par pouce carré (2^k,11 par centimètre carré); la pression dans le cylindre est très-variable pendant la course du piston.

Pression de la vapeur derrière les pistons. Pour des machines vaporisant 60 pieds cubes (1^m,7) d'eau par heure, la tuyère qui injecte dans la cheminée la vapeur sortant du cylindre a 2,25 pouces (0^m,05715) de diamètre, ce qui fait 25,64 centimètres carrés de section; pour une autre puissance de vaporisation, la section varie en proportion. Avec ces proportions, il résulte, des expériences de M. de Pambour, que la pression derrière le piston, en kilogrammes sur un centimètre carré, est représentée par

$$0,007662 v. \quad (364, \text{ p. } 436.)$$

v vitesse de la machine en kilomètres par heure.

Cette pression est la pression absolue de la vapeur, diminuée d'une atmosphère.

362. *Adhérence des roues motrices sur les rails.* Pour qu'une machine locomotive puisse remorquer un convoi, il faut non-seulement que sa force soit suffisante pour traîner le convoi, mais aussi qu'il y ait, au minimum, sans atteindre cette limite, équilibre dynamique entre l'adhérence au pourtour des roues motrices, et la force moyenne transmise par les pistons, tangentielle aux manivelles, non compris la portion de cette force absorbée par le service des pompes et les différentes résistances passives de la locomotive; sans quoi les roues motrices tourneraient sur place. On doit donc avoir (31)

$$R \pi D > F \pi d;$$

R. adhérence ou frottement de glissement des roues motrices sur les rails;

$$R = \frac{1}{7} P \text{ sur des rails parfaitement secs, } R = \frac{1}{27} P \text{ pour les rails boueux,}$$

$$\text{en pratique, il convient de supposer } R = \frac{1}{10} P;$$

P pression des roues motrices sur les rails; elle est généralement de 5,50 ton.

ainsi, pour une locomotive ordinaire de 12 tonnes, la charge des roues motrices est de 5,50 tonnes; celle des roues de devant, de 4,50 tonnes; et celle des roues de derrière, de 2 tonnes;

D diamètre des roues motrices (365);

d diamètre des manivelles ou course des pistons (365);

F pression moyenne transmise par les deux pistons tangentielle aux manivelles (66).

363. *Eau évaporée dans une locomotive.* s' étant le poids de l'eau évaporée, y compris l'eau entraînée par la vapeur, et s étant le poids de la vapeur, non compris les pertes par les soupapes, on a

$$s = \frac{3}{4} s'.$$

364. *Théorie des machines locomotives.* (Cette théorie est un extrait de celle plus complète donnée par M. de Pambour, dans son traité des machines locomotives. La théorie des locomotives revient à la solution du problème suivant et de sa réciproque : *étant données les dimensions d'une machine locomotive, trouver la v qu'elle peut traîner avec une certaine vitesse; et, réciproquement, étant données la charge à traîner et la vitesse, trouver les dimensions de la machine.*

Proposition directe. Pour qu'il y ait équilibre dans une machine locomotive, on doit avoir, en rapportant la puissance et les résistances à un mètre carré de surface de piston,

$$R = R' + F' + p + p'v. \quad (1)$$

R pression de la vapeur sur un mètre carré de surface de piston;

R' résistance qu'oppose le convoi au mouvement des pistons;

F' résistance que les frottements de la locomotive opposent au mouvement des pistons;

p résistance due à la pression atmosphérique; elle est de 10 334 kilog. par mètre carré (277);

$p'v$ résistance due à la vitesse avec laquelle la vapeur s'échappe dans la cheminée.

Si on voulait rapporter la puissance et les différentes résistances aux surfaces des deux pistons, il suffirait de multiplier R , R' , F' , p et $p'v$ par $\frac{1}{2} \pi d^2$, d étant le diamètre des pistons en mètres.

Il s'agit alors de déterminer les valeurs de R' , F' , p et $p'v$.

La résistance totale qu'oppose le convoi au mouvement des pistons

est $\frac{R' \pi d^2}{2}$; et, en appelant R'' la force nécessaire pour tirer directement le convoi, et pour qu'il y ait équilibre dynamique entre R' et R'' , on doit avoir

$$\frac{R' \pi d^2}{2} \times 2l = R'' \pi D, \quad (15 \text{ et } 31)$$

d'où l'on tire

$$R' = R'' \frac{D}{d^2 l}$$

l course des pistons;

D diamètre des roues motrices.

Sur un chemin de fer, on a

$$R'' = KM + Km + uv^2 \pm (M + m) \sin \alpha,$$

$K = \frac{1}{200}$ à $\frac{1}{250}$, coefficient de la résistance que le frottement des waggons oppose au mouvement (354, p. 429);

M poids du convoi et du tender;

$KM = fP \frac{d}{D} + f'(P + p)$ (nos 345 et 346);

m poids de la locomotive;

v vitesse du convoi en kilomètres par heure;

$uv^2 = 0,2AV^2$ résistance que l'air oppose au mouvement du convoi (347);

α angle que fait le chemin avec l'horizon;

$(M + m) \sin \alpha$ composante du poids total, parallèle au chemin; elle est nulle sur un chemin de niveau, et sur un chemin en pente elle est positive ou négative, suivant que le convoi monte ou descend (350).

Remplaçant R'' par sa valeur dans celle de R' , on a

$$R' = [KM + Km + uv^2 \pm (M + m) \sin \alpha] \frac{D}{d^2 l}. \quad (2)$$

La résistance F' des différentes pièces de la locomotive sur les pistons, est due à la résistance directe F de ces pièces quand la machine marche à vide, plus à une résistance directe δ qui est proportionnelle à l'effort de traction; en rapportant ces deux résistances au mouvement direct du convoi, on a donc, pour équilibre dynamique,

$$F' \pi d^2 l = F \pi D + \delta [KM + uv^2 \pm (M + m) \sin \alpha] \pi D,$$

d'où on tire

$$F' = F \frac{D}{d^2 l} + s [KM + uv^2 \pm (M + m) \sin \alpha] \frac{D}{d^2 l}. \quad (3)$$

La valeur de $p'v$ est connue quand, pour une valeur déterminée de v , on a p' ; or, d'après les expériences de M. de Pambour, p' est donné par la formule

$$p' = \beta \frac{S'}{O}.$$

- β coefficient égal à 0,11557 ;
 S' quantité d'eau vaporisée par heure, en mètres cubes; cette valeur de S' suppose qu'il n'y a pas de fuites de vapeur; dans le cas contraire, on diminuerait S' pour en tenir compte ;
 O section de la tuyère en centimètres carrés.

Dans l'exemple cité n° 361, on a $\frac{S'}{O} = \frac{1,7}{25,64} = 0,0663$, d'où l'on conclut

$$p' = 0,11557 \times 0,0663 = 0,007662.$$

La pression sur un centimètre carré du piston est donc 0,007662 kilogram., et pour un mètre carré on a $p'v = 76,62 v$ kilog.; cette valeur de $p'v$ suppose v exprimé en kilomètres par heure.

Substituant les valeurs de R' et de F' (2) et (3), ainsi que celle de p' dans la valeur de R (1), on a, en remarquant que Km est compris dans la valeur de F ,

$$R = [KM + uv^2 \pm (M + m) \sin \alpha] \frac{D}{d^2 l} + F \frac{D}{d^2 l} + s [KM + uv^2 \pm (M + m) \sin \alpha] \frac{D}{d^2 l} + p + 76,62 v.$$

ou

$$R = (1 + s) [(K \pm \sin \alpha) M \pm m \sin \alpha + uv^2] \frac{D}{d^2 l} + F \frac{D}{d^2 l} + p + 76,62 v. \quad (4)$$

On a

$$s = \mu S.$$

- s volume de vapeur à la pression R dépensé dans le cylindre ;
 S volume de l'eau qui a produit le volume s de vapeur ;
 μ rapport de s à S (202).

On peut poser

$$\mu = \frac{1}{n + qR}.$$

n et q quantités constantes.

Remplaçant dans cette équation R par sa valeur (4), on a

$$\mu = \frac{1}{n + q \left\{ (1 + s) [(K \pm \sin \alpha) M \pm m \sin \alpha + uv^2] \frac{D}{d^2 l} + F \frac{D}{d^2 l} + p + 76,62 v \right\}}. \quad (5)$$

La dépense de vapeur pour chaque coup de piston est

$$\frac{1}{4} \pi d^2 (l + c).$$

- c liberté du cylindre ou espace perdu entre les fonds du cylindre et les faces du piston y compris les passages de vapeur, entre les tiroirs et le cylindre.

Le nombre des coups de piston donnés en une heure est alors

$$\frac{\mu S}{\frac{1}{4} \pi d^2 (l + c)}.$$

Le nombre de tours des roues motrices, dans le même temps, est, en remarquant que chaque piston donne deux coups par tour de roue,

$$\frac{\mu S}{\pi d^2 (l + c)}.$$

et le chemin parcouru, aussi en une heure, est

$$\frac{\mu S D}{\pi d^2 (l + c)}.$$

La vitesse de la locomotive en mètres par heure est donc

$$v = \frac{\mu S D}{d^2 (l + c)};$$

et en kilomètres elle est

$$v = \frac{V}{1000} = \frac{1}{1000} \times \frac{\mu S D}{d^2 (l + c)}.$$

Remplaçant μ par sa valeur (5), on a

$$v = \frac{1}{1000} \times \frac{1}{q} \times \frac{l}{l + c} \times \frac{S}{(1 + s) [(K \pm \sin \alpha) M \pm m \sin \alpha + uv^2] + F + \frac{d^2 l}{D} \left(\frac{n}{q} + p + 76,62 v \right)}. \quad (6)$$

S étant le volume de l'eau employée pour former le volume s de vapeur, et S' le volume de l'eau qui sort de la chaudière (vapeur formée et eau qu'elle entraîne), on a, dans une locomotive,

$$S : S' :: 0,75 : 1,$$

d'où l'on tire

$$S = 1,33 S'.$$

En ayant égard aux pertes de vapeur par les soupapes de sûreté, on a

$$S = 1,40 S'.$$

Dans une locomotive, la quantité d'eau évaporée croît proportionnellement à la racine quatrième de la vitesse de la locomotive; ainsi, v étant la vitesse correspondant à la quantité d'eau évaporée S' , et v'' celle correspondant à la quantité S'' , on a

$$S' : S'' :: \sqrt[4]{v} : \sqrt[4]{v''},$$

d'où on tire

$$S' = S'' \left(\frac{v}{v''} \right)^{\frac{1}{4}}.$$

A la vitesse de 32 kilomètres à l'heure, on a trouvé que la quantité d'eau évaporée par heure était de $0^m,054$, c'est-à-dire de 54 litres, par mètre carré de surface de chauffe.

Supposant alors $v'' = 32$ kilomètres, on a, en représentant par T la surface de chauffe en mètres carrés,

$$S'' = 0^m,054 \times T,$$

et par suite

$$S' = 0,054 \times T \left(\frac{v}{32} \right)^{\frac{1}{4}},$$

et

$$S = \frac{0,054 \times T \left(\frac{v}{32} \right)^{\frac{1}{4}}}{1,40}.$$

Remplaçant S par sa valeur dans la formule (6), on a

$$v = \frac{1}{1000} \times \frac{1}{q} \times \frac{l}{l+c} \times \frac{0,054 \times T \left(\frac{v}{32} \right)^{\frac{1}{4}}}{(1+\delta)[(K \pm \sin \alpha)M \pm m \sin \alpha + uv^2] + F + \frac{d^2 l}{D} \left(\frac{n}{q} + p + 76,62v \right)}$$

Équation de laquelle on peut tirer directement la valeur de v ; mais il vaut mieux, pour la facilité des calculs, déterminer la valeur de v par tâtonnement. On substitue à v , dans le second membre de l'équation, une valeur que l'on suppose approcher de la valeur réelle, et on tire de l'équation une seconde valeur de v , plus ou moins exacte, mais s'approchant plus de la vérité que la valeur supposée; cette seconde valeur, substituée à son tour dans le second membre de l'équation, en donne une troisième plus exacte que la seconde; opérant sur cette troisième valeur comme sur les précédentes, on en obtient une quatrième plus exacte encore que la troisième; en continuant ainsi de suite, on peut obtenir une valeur aussi approchée qu'on le veut de celle satisfaisant à l'équation précédente. En pratique, on peut considérer comme suffisamment exacte la troisième ou la quatrième valeur.

M. de Pambour n'admet pas, comme on l'avait supposé, que un mètre carré de surface de chauffe par contact ne produit que le 1/3 de la quantité de vapeur produite par un mètre carré de surface de chauffe par rayonnement; il admet que la production de vapeur est la même pour les deux genres de surfaces (234).

2° Réciproquement, soit à déterminer la charge trainée par la locomotive. Il suffit de tirer la valeur de M de l'équation (6), ce qui donne

$$M = \frac{1}{(1+\delta)(K \pm \sin \alpha)} \left[\frac{1}{1000} \times \frac{l}{l+c} \times \frac{S}{qv} - \frac{d^2 l}{D} \left(\frac{n}{q} + p + 76,62v \right) - F \right] - \frac{1}{K \pm \sin \alpha} (uv^2 \pm m \sin \alpha); \quad (7)$$

expression que l'on peut mettre sous la forme

$$M = B - \frac{1}{K \pm \sin \alpha} (uv^2 \pm m \sin \alpha).$$

Dans cette formule, la valeur de B est connue (formule 7); il n'y a que la valeur de $uv^2 = 0,3A V^2$ (n° 347), qui est fonction de M , qui ne le soit pas; mais on tirera une première valeur de M en assignant à uv^2 une

valeur préjugée convenable, de cette valeur de M on conclura la valeur de A , et par suite celle de uv^2 qui lui correspond; cette seconde valeur de uv^2 substituée dans l'équation donnera alors une valeur de M suffisamment approchée.

Effet produit par une machine locomotive. Multipliant la valeur de M (équation (7)) par v , cet effet, en kilogrammes transportés à 1000 mètres, est, par heure,

$$T_u = \frac{1}{(1+\delta)(K\pm)} \left[\frac{1}{1000} \times \frac{l}{l+c} \times \frac{S}{D} - \frac{d^2 v}{D} \left(\frac{n}{q} + p + 76,62v \right) - Fv \right] - \frac{v}{K\pm \sin \alpha} (uv^2 \pm m \sin \alpha).$$

v n'entrant que dans les termes négatifs, on voit que l'effet utile T_u est d'autant plus grand que la vitesse est plus petite. On peut estimer la force des locomotives en chevaux-vapeur (19); mais ordinairement cela ne suffit pas; il convient de désigner les charges que traînent ces machines sur un plan horizontal avec une certaine vitesse.

On obtient la plus grande puissance que peut atteindre une locomotive, quand la pression R dans le cylindre est égale à celle dans la chaudière; mais, en pratique, avec une charge correspondant à cette valeur de R , on ne pourrait pas démarrer, à moins d'augmenter momentanément la pression dans la chaudière, en fermant les soupapes après avoir arrêté l'alimentation de la chaudière avant d'arriver aux points d'arrêt.

L'inspection de la formule (6) fait voir que, toutes choses égales d'ailleurs, la vitesse est d'autant plus grande que $\frac{d^2 l}{D}$ est plus petit, c'est à-dire que le diamètre et la course des pistons sont plus petits, et que le diamètre des roues motrices est plus grand. Elle fait voir aussi que la vitesse est indépendante de la pression de la vapeur.

Locomotives fonctionnant sans charge. Pour ce cas, la formule (1) devient

$$R = F + p + p'v.$$

M de Pambour, en faisant en sorte que la pression dans le cylindre soit la même que dans la chaudière, a obtenu un mouvement uniforme pour différentes machines, mais à une faible vitesse, ce qui rendait $p'v$ nul, quand la pression effective a été de 4 à 5,5

livres par pouce carré (2800 à 3800 kil. par mètre carré); ce qui donne alors en moyenne

$$F' = F = 3300 \text{ kil.}, \text{ et } R = 3300 \text{ kil.} + p.$$

Des expériences de $M.$ de Pambour, sur des machines fonctionnant sans charges, il résulte, pour des machines à 4 roues non couplées, du poids moyen de 8 tonneaux, de $0^m,406$ à $0^m,457$ de course de piston, de $0^m,279$ de diamètre de piston et de $1^m,525$ de diamètre de roue, que la résistance directe totale qu'elles opposent au mouvement de progression le long des rails est moyennement de 47 kil. Pour une machine du poids de 11,58 tonneaux, à 6 roues dont 4 seulement coniques et à mentonnet, mais couplées, cette résistance a été de 63 kilog. Pour une autre à 6 roues à mentonnet non couplées, du poids de 11,37 tonneaux, cette résistance a été de 80 k. En retranchant des résistances précédentes, la résistance due au frottement des essieux et du pourtour des roues, $M.$ de Pambour donne, pour la résistance due au mécanisme de la machine, 22 kilog. pour les machines à 4 roues non couplées, et 27 kilog. pour la machine de 11,58 tonneaux, à 6 roues dont 4 sont couplées.

De ces résultats, il résulte que pour déterminer la résistance totale d'une locomotive isolée, il suffit, suivant qu'elle est à roues libres ou couplées, d'ajouter à 22 ou 27 kilog. le produit de $3k,14$ par le poids de la locomotive en tonneaux.

Lorsque la locomotive traîne une certaine charge, on a

$$F' = F \frac{D}{d^2 l} + \delta [KM + uv^2 \pm (M + m) \sin \alpha] \frac{D}{d^2 l}. \quad ((3) \text{ p. } 436.)$$

Cette résistance est celle qui agit sur chaque mètre carré de la surface des pistons pour s'opposer à leur mouvement; pour avoir la résistance totale qui s'oppose à leur mouvement, il faut multiplier cette première valeur par leur surface $\frac{\pi d^2}{2}$; et pour avoir la résistance qui s'oppose directement à la progression le long des rails, il faut encore multiplier ce produit par le rapport de l'espace $2l$ parcouru par les pistons à l'espace correspondant πD parcouru par la locomotive, ce qui donne, pour la résistance totale que F' oppose directement à la progression de la locomotive, en simplifiant,

$$F + \delta [KM + uv^2 \pm (M + m) \sin \alpha].$$

M. de Pambour a trouvé par expérience qu'on avait :

$\delta = 0,14$ pour les locomotives à roues libres ;

$\delta = 0,22$ pour les locomotives à roues couplées.

Résumé des coefficients de M. de Pambour.

M poids brut traîné par la machine (charge, waggons et tender) ;
 m poids de la locomotive.

$$K = \frac{1}{250};$$

Sin α pente du chemin ;

$p = 10335k$ pression atmosphérique par mètre carré de surface ;

n coefficient constant égal à 0,0001421 quand la pression R est exprimée en kil par mètre carré ;

q autre coefficient égal à 0,0000000471, aussi quand la pression R est exprimée en kil. par mètre carré ;

$$c = \frac{1}{20}l;$$

$$\frac{l+c}{l} = \frac{20}{21}, \text{ liberté du cylindre;}$$

F, δ et p/v sont donnés plus haut.

365. *Dimensions moyennes des parties principales des machines locomotives. Consommation moyenne de coke. Production moyenne de vapeur.*

Le rapport de la surface de chauffe par rayonnement, à la surface de chauffe par contact, est ordinairement compris entre 1/8 et 1/10 ; suivant que la machine est petite ou grande, la première de ces surfaces est moyennement de 25 et 50 mètres carrés, et la seconde de 3^{m. c.}, 3 et 5^{m. c.}, 3.

Le rapport de la surface de la grille, à la surface de chauffe totale, est moyennement 1/52.

Le vide entre les barreaux varie de 0^m,03 à 0^m,05, le plein est de 0^m,025.

La distance de la grille au premier rang de tubes est de 0^m,41 dans les locomotives à 4 roues, et de 0^m,50 dans celles à 6 roues.

On charge la grille de manière que le coke s'élève jusqu'au premier rang de tubes, qu'il dépasse même généralement.

Chaque décimètre carré de surface de grille brûle environ 5^k,00 de coke à l'heure (230).

Chaque kilog. de coke consomme 18 mètres cubes d'air froid (220).

Chaque mètre carré de surface de chauffe totale évapore 54^k,00 d'eau par heure (234).

Sur le chemin de Bâle à Strasbourg, des machines, dont les cylindres ont 13 pouces de diamètre, sans détente, et parcourant 10 lieues à l'heure, consomment 8 à 9 kilog. de coke par kilomètre parcouru ; avec les machines à détente variable de M. Meyer, cette consommation a été réduite à 6^k,50, et on prétend arriver à 5^k,00.

Le foyer étant intérieur, la première enveloppe est en cuivre dont l'épaisseur atteint quelquefois 0^m,015, et une épaisseur double pour la partie supérieure de la paroi qui reçoit les tubes, la partie inférieure de cette paroi n'a guère que l'épaisseur des autres parois latérales ; l'enveloppe extérieure est en tôle de 0^m,0065 environ. Les deux enveloppessont séparées par une couche d'eau de 0^m,06 à 0^m,10 environ, et reliées entre elles par des entretoises qui les rendent rigides et les empêchent de se déformer. La partie supérieure de l'enveloppe intérieure, que l'on ne peut relier à l'enveloppe extérieure, se renforce par des cornières en fonte.

Les tubes des chaudières ont de 0^m,04 à 0^m,06 de diamètre intérieur, on les fait en laiton de 0^m,002 à 0^m,003 d'épaisseur, ou en cuivre ou en fer ; ces derniers avaient été rejetés à cause de l'inégalité de dilatation, mais M. Stephenson les emploie de nouveau ; ceux en cuivre durent très peu, ils sont promptement usés par les parcelles de coke qu'entraîne la fumée ; aussi a-t-on donné la préférence aux tubes en laiton, dont la durée moyenne est de trois ans. Le poids de 7^k,25 d'un tube neuf est réduit par l'usure au poids de 3^k,00.

La vitesse moyenne de la fumée dans les tubes est de 50 mètres par seconde, et dans la cheminée elle varie de 50 à 90 mètres (229).

Le diamètre de la cheminée est de 0^m,35, et sa hauteur de 2^m,00 au-dessus de la chaudière pour les machines à 6 roues ; pour les machines à 4 roues, le diamètre de la cheminée est de 0^m,32, et la hauteur, de 3^m,80 au-dessus des rails. Au chemin de fer de Saint-Germain, le rapport moyen de la section de la cheminée des machines, à la surface de chauffe totale, est de $\frac{1}{378}$, et au chemin de fer

de Versailles, il est de $\frac{1}{562}$; ce dernier rapport est le plus employé (224).

Dans les anciennes machines, le volume d'eau contenu dans les chaudières était de $1^{\text{m}^{\text{cu}}},22$; dans les nouvelles à 6 roues, il est de $1^{\text{m}^{\text{c}}},98$. Dans les premières, la capacité de la chambre de vapeur était de $0^{\text{m}^{\text{c}}},63$, et dans les secondes, elle est de $0^{\text{m}^{\text{c}}},78$. Il conviendrait de ne pas faire la capacité de la chambre de vapeur de moins de $1^{\text{m}^{\text{c}}},25$.

La distance du niveau de l'eau au point supérieur de la chaudière était de $0^{\text{m}},30$ dans les anciennes machines, elle est maintenant de $0^{\text{m}},35$.

Comme pour les machines fixes, le diamètre des soupapes devrait se déterminer à l'aide de la formule du n° 243; mais il est en général plus petit que ne l'indique cette formule; ainsi le rapport moyen de la surface réelle à la surface théorique a été de 0,73 pour 15 machines.

Les pompes alimentaires sont calculées de manière à pouvoir fournir cinq fois plus d'eau que n'en consomme la chaudière.

Le rapport moyen de la section des lumières des tiroirs à celle des cylindres varie de 1/10 à 1/13; et le rapport entre la largeur et la longueur des lumières varie de 1/8 à 1/5.

Le diamètre du tuyau d'échappement est ordinairement de $0^{\text{m}},06\frac{1}{2}$, mais il descend quelquefois à $0^{\text{m}},057$.

Le diamètre des cylindres varie de 10 à 15 pouces anglais ($0^{\text{m}},254$ à $0^{\text{m}},381$), et la course des pistons, de 16 à 18 pouces ($0^{\text{m}},406$ à $0^{\text{m}},457$); les cylindres sont en fonte de $0^{\text{m}},020$ à $0^{\text{m}},025$ d'épaisseur.

Les tiges des pistons ont environ $0^{\text{m}},044$ de diamètre.

Le diamètre des roues motrices varie de 4,5 à 6 pieds anglais ($1^{\text{m}},676$ à $1^{\text{m}},829$); ces dernières s'emploient pour le transport des voyageurs. Sur le chemin de Londres à Bristol, les roues motrices ont 10 pieds de diamètre ($3^{\text{m}},048$).

M. Stephenson a donné 5 pieds $1^{\text{m}},52\frac{1}{2}$ de diamètre aux roues motrices d'une locomotive à six roues, et $1^{\text{m}},06$ aux autres roues; les roues motrices n'ont pas de rebord et les autres sont à rebord intérieur.

Le diamètre de l'essieu moteur est de $0^{\text{m}},127$, et celui des fusées, qui est le même pour les trois essieux, est de $0^{\text{m}},08$.

Le diamètre des petites roues des locomotives est généralement de 3 pieds anglais ($0^{\text{m}},915$). Des constructeurs ont porté celui des roues de devant, qui portent une charge plus considérable que celles de derrière, à 4 pieds ($1^{\text{m}},22$).

Le tender doit contenir des quantités d'eau et de combustible nécessaires pour parcourir un espace de 25 kilomètres au moins et 40 kilomètres au plus, si l'espace parcouru dépasse cette limite, on s'arrête sur la ligne pour reprendre de l'eau et du coke.

TABLEAU des dimensions des principales parties de quelques machines locomotives, extrait du Guide du Mécanicien-conducteur de machines locomotives, par MM. Flachet et Pettet.

DÉSIGNATION des machines.	NOMS des constructeurs.	DIAM. des pistons.	COURSE des pistons.	DIAM. des roues motrices.	NOMB. de roues.	SURFACE des grilles.	DIST. de la grille aux tubes.	DIAM. intérieur des tubes.	LONG. des tubes.	NOMB. de tubes.	SURFACE DE CHAUFFE		POIDS total de la machine en fonction.	POIDS sur les roues motrices.	POIDS de la machine et de son tender en marche.
											par contact.	totale.			
Denis Papin.	Jackson.	m. 0,280	m. 0,410	m. 1,540	4	m. q. 0,653	m. 0,450	m. 0,041	m. 2,10	82	m. q. 3,32	22,16	tonn. 9,25	tonn. 14,00	
La Seine.	Bury.	0,280	0,415	1,546	4	0,659	0,475	0,052	2,36	76	3,07	30,00	9,00	5,00	14,00
Taylor.	Taylor.	0,297	0,406	1,677	6	0,620	0,420	0,041	2,43	107	3,72	33,48	12,00	5,40	8,00
Etna.	Haigh-Foundry.	0,290	0,406	1,670	6	0,740	0,360	0,041	2,45	121	4,13	38,24	14,00	6,30	20,00
Jean-Bart.	Hawthorn.	0,305	0,460	1,520	6	0,639	0,500	0,041	2,50	104	3,75	33,48	11,00	6,00	17,00
Stephenson.	Stephenson.	0,305	0,460	1,680	6	1,087	0,510	0,054	2,56	80	4,62	34,73	13,50	6,10	19,00
Atlas.	Sharp et Roberts.	0,318	0,460	1,820	6	0,767	0,480	0,041	2,57	117	4,41	38,44	13,50	6,10	20,00
Alsace.	Stehelin et Huber.	0,316	0,460	1,830	6	0,854	0,450	0,048	2,67	104	4,29	41,92	14,00	6,30	19,00
Gauloise.	Cavé.	0,330	0,490	1,670	6	1,030	0,630	0,050	2,60	99	5,83	40,49	15,00	6,80	22,00
Bucephalé.	Rothwell.	0,330	0,432	1,670	6	0,870	0,460	0,050	2,62	111	4,56	46,65	15,00	6,80	22,00
Creusot.	Schneider frères.	0,330	0,460	1,670	6	1,020	0,460	0,048	2,69	115	5,60	44,88	15,50	7,00	23,00
Alcide.	Stehelin et Huber.	0,330	0,460	1,830	6	0,870	0,530	0,048	2,75	115	5,02	47,72	15,00	6,80	22,00
Vesta.	Stephenson.	0,330	0,450	1,680	6	1,039	0,480	0,054/40	2,54	103/8	5,69	46,75	15,00	6,80	22,00
Exposition.	Schneider frères.	0,330	0,460	1,830	6	1,150	0,600	0,040	2,70	138	5,98	46,94	15,00	6,80	22,00
Versailles.	Jackson.	0,330	0,460	1,670	6	0,972	0,530	0,042	2,56	155	5,33	52,71	15,00	6,80	22,00
Vésuve.	Sharp et Roberts.	0,330	0,460	1,680	6	1,102	0,550	0,040	2,55	162	5,83	52,00	15,00	6,80	22,00
Atlas.	Stephenson.	0,304	0,405	1,520	4	0,860	0,430	0,041	2,40	65	5,30	20,97	9,00	5,00	14,00
Vesta.	Id.	0,280	0,405	1,520	4	0,660	0,310	0,041	2,14	80	4,27	23,79	28,06	5,00	14,00
N° 130.	Id.	0,316	0,405	1,520	6	0,770	0,500	0,041	2,44	111	4,34	36,46	13,00	5,90	18,00
Harvey Combe.	Id.	0,304	0,456	1,520	6	0,950	0,500	0,041	2,21	102	4,71	31,57	13,50	6,10	18,00
Bury.	Bury.	0,304	0,456	1,670	4	0,760	0,480	0,054	2,44	86	3,65	35,47	9,00	5,00	15,00
North Star.	Stephenson.	0,400	0,405	2,128	6	1,030	0,500	0,041	2,59	167	6,52	60,83	19,00	8,53	27,00
Eolus.	Taylor.	0,355	0,405	2,432	6	1,030	0,500	0,041	2,59	167	4,68	49,69	15,50	8,30	26,00
Vénus.	Id.	0,305	0,405	2,432	6	1,030	0,500	0,041	2,59	167	4,19	42,92	18,00	8,10	25,00

La disposition 5/40 et 103/8 indique qu'il y a 103 tubes dont le diamètre est 0^m,054, et 8 dont le diamètre est 0^m,040.

On peut établir que dans les locomotives le rapport de la surface de chauffe par rayonnement à la surface de chauffe par contact est 1/9. Le rapport de la surface de la grille à la surface de chauffe totale est 1/52.

366. *Service des locomotives.* Des ingénieurs anglais expérimentés comptent deux locomotives pour une seule en feu ; d'autres comptent sur trois ; ce dernier nombre paraît convenable pour un service continu.

En admettant qu'une locomotive ne doit pas parcourir plus de 20 à 25 lieues de 4 kilomètres sans se reposer, et plus de 80 lieues sans être nettoyée et réparée, avec ces précautions, une locomotive peut, d'après M. Clarke, parcourir environ 4000 lieues sans qu'il soit nécessaire de lui faire subir de grandes réparations, c'est-à-dire sans la démonter complètement pour la reconstruire.

Sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester, sur 50 machines locomotives, le tiers seulement est en feu.

Sur le chemin de Versailles (rive droite), dont la pente est de 5 millimètres par mètre, en montant d'Asnière à Versailles, on a compté, pour le transport de 3 millions de voyageurs par année, 40 locomotives très-puissantes, capables de remorquer huit à dix diligences.

367. *Prix des machines locomotives.* M. E. Flachet rapporte dans son compte-rendu des travaux de l'union des constructeurs, du 1^{er} août 1841 au 1^{er} août 1843, d'après des documents récents, les résultats suivants, sur une importation de 14 locomotives avec leurs tenders :

Poids des 14 locomotives sans tender.	168 860 kilog.
Poids des 14 tenders à 4000 kilog. par tender.	56 000
Poids total.	224 860 kilog.
Poids d'une machine sans tender.	12 060
Valeur totale assignée.	584 420 fr.
Défalquant 14 tenders à 4 500 fr.	63 000
Il reste pour les 14 machines.	521 420
Ce qui fait par machine sans tender.	37 300

Ainsi, la valeur assignée à une locomotive du poids de 12060 k. est de 37,300 fr., soit 310 fr. par 100 kilog. Le comité des constructeurs conclut que le droit actuel d'importation, 16 fr. 50 c. pour 100 fr. de la valeur, soit 51 fr. 10 c. par 100 kilog., ne protège pas suffisamment les mécaniciens français, et il demande un droit de 80 fr. par 100 kilog., ce qui correspond à 26 pour 100 de la valeur.

Nous allons rapporter les résultats de l'adjudication de 40 locomotives nécessaires à l'exploitation du chemin de fer du Nord, qui a eu lieu le 27 septembre 1844, au ministère des travaux publics. Les machines sont du dernier modèle de M. Stephenson, dites à cylindres extérieurs, telles que celles fournies récemment par ce constructeur au chemin de Paris à Orléans.

La fourniture était divisée en trois lots; le premier et le deuxième lot, concernant la partie de chemin comprise entre Paris et Clermont, étaient composés chacun de 12 locomotives, 12 tenders et leurs pièces de rechange; le troisième lot, concernant la partie de chemin comprise entre Arras et Lille, était composé de 16 locomotives, 16 tenders et leurs pièces de rechange.

NOMS DES CONSTRUCTEURS.	DEMEURES.	DEMANDES DES CONSTRUCTEURS, par machine avec tender et pièces de rechange, pour le		
		1 ^{er} lot.	2 ^e lot.	3 ^e lot.
André Kœchlin et C ^{ie} . . .	Mulhouse.	51 400 fr.	49 600 fr.	50 900 fr.
Allcard, Buddicom et C ^{ie} .	Rouen.	51 000	51 000	51 500
Schneider, frères.	Creusot.	49 700	49 700	52 000
I.-J. Meyer et C ^{ie}	Mulhouse.	49 232	49 232	50 712
Ch. Derosne et Cail.	Paris.	48 000	48 000	49 000
Hallette.	Arras.	47 000	47 000	»
Cavé.	Paris.	44 800	»	»

M. Cavé, déclaré adjudicataire pour le premier lot, a été, aux termes du cahier des charges, écarté du concours pour les deuxième et troisième lots.

M. Hallette, déclaré adjudicataire pour le deuxième lot, a été écarté du concours pour le troisième lot.

MM. Ch. Derosne et Cail ont été déclarés adjudicataires pour le troisième lot.

368. *Dispositions relatives à l'emploi des machines à vapeur locomobiles et locomotives.* (Extrait des ordonnances des 22 et 23 mai 1843) (239).

1^o *Machines locomobiles.* Sont considérées comme locomobiles, les machines à vapeur qui, pouvant être transportées facilement d'un lieu dans un autre, n'exigent aucune construction pour fonctionner à chaque station.

Les chaudières et autres pièces de ces machines sont soumises aux épreuves et aux conditions de sûreté prescrites pour les machines fixes (nos 239, 240, 241, 243, 244 et 245), sauf les exceptions suivantes, pour celles de ces chaudières qui sont construites suivant un système tubulaire :

1^o Lesdites chaudières peuvent être éprouvées sous une pression double seulement de la pression effective,

2^o On peut, quelle que soit la tension de la vapeur dans ces chaudières, remplacer le manomètre à air libre par un manomètre à air comprimé, ou même par un thermomanomètre, c'est-à-dire par un thermomètre gradué en atmosphères et parties décimales d'atmosphère: les indicateurs de ces instruments devront être parfaitement lisibles et en vue du chauffeur;

3^o On peut se dispenser d'adapter auxdites chaudières un flotteur d'alarme, et il suffira qu'elles soient munies d'un tube indicateur en verre convenablement placé.

Indépendamment des timbres relatifs aux conditions de sûreté (240), toute locomobile reçoit une plaque portant le nom du propriétaire.

Aucune locomobile ne peut fonctionner à moins de 100 mètres de distance de tout bâtiment sans une autorisation spéciale donnée par le maire de la commune. En cas de refus, la partie intéressée peut se pourvoir devant le préfet.

Si l'emploi d'une machine locomobile présente des dangers, soit parce qu'il n'aurait point été satisfait aux conditions de sûreté prescrites ci-dessus, soit parce que la machine n'aurait pas été entretenue en bon état de service, le préfet, sur le rapport de l'ingénieur des mines, ou, à son défaut, de l'ingénieur des ponts et

chaussées, peut suspendre ou même interdire l'usage de cette machine.

2° *Machines locomotives.* Les machines à vapeur locomotives sont celles qui, en se déplaçant par leur propre force, servent au transport des voyageurs, des marchandises ou des matériaux.

Comme pour les machines locomobiles, les dispositions pour les machines fixes (nos 239, 240, 241, 243, 244 et 245), sont applicables aux chaudières et autres pièces de ces machines, sauf l'exception suivante :

Les soupapes de sûreté des machines locomotives peuvent être chargées au moyen de ressorts disposés de manière à faire connaître, en kilogrammes et en fractions décimales de kilogramme, la pression qu'ils exercent sur les soupapes.

Aucune machine locomotive ne peut être mise en service sans un permis de circulation, délivré par le préfet du département où se trouve le point de départ de la locomotive.

La demande du permis contient les indications comprises sous les numéros 1 et 3 de la demande en autorisation des machines fixes (n° 242, page 308), et fait connaître, de plus, le nom donné à la machine locomotive et le service auquel elle est destinée.

Le nom de la locomotive est gravé sur une plaque fixée à la chaudière.

Le préfet, après avoir pris l'avis de l'ingénieur des mines, ou, à son défaut, de l'ingénieur des ponts et chaussées, délivre, s'il y a lieu, le permis de circulation.

Dans ce permis sont énoncés :

1° Le nom de la locomotive et le service auquel elle est destinée ;

2° La pression maximum (en nombre d'atmosphères) de la vapeur dans la chaudière, et les numéros des timbres dont la chaudière et les cylindres auront été frappés ;

3° Le diamètre des soupapes de sûreté ;

4° La capacité de la chaudière ;

5° Le diamètre des cylindres et la course des pistons ;

6° Enfin, le nom du fabricant et l'année de la construction.

Si une machine locomotive ne satisfait pas aux conditions de

sûreté ci-dessus prescrites, ou si elle n'est pas entretenue en bon état de service, le préfet, sur le rapport de l'ingénieur des mines, ou, à son défaut, de l'ingénieur des ponts et chaussées, peut en suspendre ou même en interdire l'usage.

Les conditions auxquelles est assujettie la circulation des locomotives et des convois, en tout ce qui peut concerner la sûreté publique, sont déterminées par arrêtés du préfet du département où est situé le lieu du départ, après avoir entendu les entrepreneurs, et en ayant égard, tant au cahier des charges des entreprises qu'aux dispositions des règlements d'administration publique concernant les chemins de fer.

FRAIS DE CONSTRUCTION ET D'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER.

(Extrait d'un article de M. Perdonnet, inséré au *Journal de l'industriel et du capitaliste*, numéro de juin 1839.)

369. *Considérations pécuniaires sur l'établissement d'un chemin de fer.* Lors de l'établissement d'un chemin de fer on doit considérer :

1° Les frais de construction, représentés dans les frais d'exploitation par l'intérêt du capital ;

2° Les frais d'entretien du chemin ;

3° Les frais de traction ;

4° Les frais généraux.

370. *La dépense d'exécution d'un chemin de fer se divise comme il suit :*

1° Études ;

2° Acquisition des propriétés, indemnités pour dommages et dépréciations ;

3° Terrassements ;

4° Percements de souterrains ;

5° Ouvrages d'art (ponts, viaducs, aqueducs, murs de soutènement, murs de clôture, etc.) ;

6° Établissement de la voie (rails, coussinets, traverses, sable, croisements de voie, plaques tournantes, etc.) ;

7° Clôtures et barrières ;

8° Bâtimens pour les stations (stations principales, stations intermédiaires, remises pour locomotives et pour diligences, magasins, réservoirs) ;

9° Atelier de réparations avec outillage ;

10° Matériel pour l'exécution du chemin (waggon de terrassement, tombereaux, outils, hangars provisoires, etc.) ;

- 11° Matériel d'exploitation du chemin (locomotives, voitures de différentes espèces pour le transport des voyageurs, chariots pour le transport des voyageurs, chariots pour le transport des marchandises, chariots pour le transport des animaux) ;
- 12° Approvisionnements en matières premières, telles que combustibles, métal pour la réparation des locomotives et diligences ;
- 13° Frais d'administration (directeur, ingénieurs, conducteurs de travaux, gardes, caissier, dessinateurs, expéditionnaires, etc.) ;
- 14° Frais de contentieux (notaires, avocats, avoués, etc.) ;
- 15° Faux frais divers (publications, journaux) ;
- 16° Intérêt de l'argent pendant la durée de la construction ;
- 17° Frais imprévus pour accidents, articles oubliés, etc.

371. *Études.* Il est impossible d'évaluer à l'avance les frais d'études, qui se composent principalement d'opérations sur le terrain, telles que nivellements, triangulations, sondages, tracés de lignes droites et de lignes courbes, opérations dont le nombre dépend de la configuration du pays que doit traverser le chemin.

372. *Acquisition des propriétés, indemnités.* Les dépenses classées dans cet article sont très-variables et très-difficiles à évaluer.

TABLEAU des indemnités de terrain payées sur différents chemins.

	POUR LA TOTALITÉ.	PAR LIEUE.
Chemin de Saint-Germain.	800 000 fr.	200 000 fr.
<i>Id.</i> Versailles (rive droite).	1 500 000	330 000
<i>Id.</i> Versailles (rive gauche).	2 700 000	600 000
<i>Id.</i> Saint-Étienne à Lyon.	3 600 000	240 000
<i>Id.</i> Saint-Étienne à Roanne.	960 000	56 000
<i>Id.</i> Saint-Étienne à Andresleux	330 000	64 000

373. *Terrassements, percements de souterrains* On conçoit que malgré tous les soins que l'on peut apporter au sondage, pour déterminer la nature du terrain que l'on a à attaquer, soit en tranchée, soit en percement, on peut faire de grandes erreurs dans l'évaluation des frais qu'exigeront ces travaux.

374. *Ouvrages d'art.* On peut assez exactement, sauf des cas particuliers, se rendre compte du prix de revient de ces travaux.

375. *Établissement de la voie.* On conçoit que le prix d'établis-

sement de la voie, qui dépend du prix des divers matériaux et de la main-d'œuvre, doit varier suivant les localités.

Devis par mètre courant de chaussée à deux voies, aux environs de Paris.

Remblai en sable, 3 ^m cu. 50, prix moyen (330).	7.00 fr.
Deux traverses en bois cubant 0 ^m cu. 22 à 8 fr. pièce (331).	16.00
Poids de rail 120 kilog., à 42 fr. les 100 kilog. (rail pesant 30 kilog. le mètre courant) (339)	50.40
Poids des coussinets, 36 kilog., à 35 fr. les 100 kilog. (332).	12.60
8 Chevilletes (333).	1.80
4 Coins (334).	0.80
Coltinage (transport des rails sur la ligne).	3.50
Pose.	3.00
Frais divers.	1.30
TOTAL.	96.40

Devis par mètre courant de chaussée à une voie, aux environs de Paris.

Remblai en sable, 2 ^m cu. 00, à 2 fr.	4.00 fr.
Une traverse.	8.00
Poids de rail, 60 kilog., à 42 fr.	25.20
Poids des coussinets, 18 kilog., à 35 fr. le cent.	6.30
4 Chevilletes.	0.90
2 Coins.	0.40
Coltinage.	1.70
Pose.	1.50
Frais divers.	1.00
TOTAL.	49.00

On compte 1/5 en sus pour les gares d'évitement et de stationnement, ce qui porte le prix du mètre courant de chaussée à 58^f.80.

376. *Clôtures et barrières.* Au chemin de fer de Versailles (rive gauche) les clôtures et treillages ont coûté 3 fr 25 c. par mètre courant.

377. *Bâtiments pour stations.* Les dépenses à faire pour les bâtiments d'exploitation, comprenant les bureaux, salles d'attente, remises, ateliers, etc., sont faciles à évaluer, une fois que la forme et les dimensions de ces bâtiments sont déterminées (326).

Les salles d'attente d'un chemin où la circulation est active, doivent être vastes; on peut citer, comme modèles, celles du chemin de Saint-Germain et surtout de Versailles (rive droite). De longs et larges trottoirs couverts de combles doivent border la gare de départ.

Au chemin de fer de Saint-Germain, les bâtiments, avec salle d'attente et bureau, ont coûté 246,000 fr. pour la station de Paris, et 515,000 fr. pour celle du Pecq; il est vrai qu'une partie des bâtiments de cette dernière est louée à des particuliers.

378. *Ateliers de réparations et outillage.* Les remises et ateliers doivent être très-grands (326). Les ateliers réunis des chemins de Saint-Germain et de Versailles (rive droite) ont coûté, outillage compris, 1,200,000 fr., sur lesquels on compte 700,000 fr. pour le chemin de Versailles seulement. Au chemin d'Orléans, on a compté 600,000 fr. pour les ateliers de réparations, outillage compris.

379. *Matériel pour l'exécution.* En général, les entrepreneurs fournissent le matériel d'exécution. Ce matériel a coûté à lui seul, à la compagnie du chemin de fer de Versailles (rive gauche), environ 400,000 fr.

380. *Matériel d'exploitation.* On peut assez exactement évaluer le prix du matériel d'exploitation du chemin; car on connaît le prix d'une locomotive (367), d'une diligence et d'un waggon, et on peut se rendre assez approximativement compte du nombre nécessaire, d'après leur service (366), et le nombre de voyageurs et la quantité de marchandises à transporter.

381. *TABLEAU des prix d'exécution de différents chemins de fer, canaux et routes, par lieue de 4 kilomètres.*

CHEMINS FRANÇAIS.

Petits chemins établis autour des mines ou dans les mines, à Saint-Étienne, Épinac, etc. (poids de 1 ^m ,00 de longueur de rail, 7 à 8 kilog.).	20 000 à 40 000 fr.
Chemin de Montrou à Montbrison, établi à une voie sur l'accotement de la route royale, desservi par des chevaux.	60 000
Chemin de Denain, établi pour le service des mines à la surface, à une voie, desservi par des chevaux.	88 000
Chemin à une voie, d'Épinac au canal du centre, desservi par des chevaux et des machines fixes.	228 000
Chemin à une voie, de Saint-Étienne à Andrieux, desservi par des chevaux.	400 000
Chemin de Roanne à Saint-Étienne, à une seule voie, desservi par locomotives, chevaux et machines fixes, environ.	460 000

Chemin de Saint-Étienne à Lyon, construit sur un terrain très-accidenté, à deux voies, desservi par locomotives et chevaux.	1 000 000
Chemin de Bâle à Strasbourg.	1 000 000
<i>Id.</i> de Rouen.	1 400 000
<i>Id.</i> d'Orléans.	1 500 000
<i>Id.</i> de Saint-Germain.	2 500 000
<i>Id.</i> de Versailles (rive droite).	3 500 000
<i>Id.</i> de Versailles (rive gauche).	4 000 000

CHEMINS ANGLAIS.

Chemins établis aux environs de Newcastle, pour le transport du charbon, à une voie.	140 000 fr.
Chemin de Preston à Longridge, à une voie.	240 000
<i>Id.</i> de Darlington, à une voie, pour le transport du charbon, desservi par locomotives, à la vitesse de 4 lieues à l'heure.	328 000
Chemin de Cromford à Peakforest, desservi par chevaux et machines fixes, à une voie.	336 000
Chemin de Newcastle à Carlisle, à une voie, traversant l'Angleterre de l'est à l'ouest, desservi par locomotives à grande vitesse.	480 000
Chemin de Leeds à Selby, à 2 voies, desservi par locomotives à grande vitesse.	1 000 000
Chemin de Birmingham à Liverpool, pour le transport des voyageurs, à grande vitesse.	1 500 000
Chemin de Liverpool à Manchester.	2 600 000
<i>Id.</i> de Londres à Birmingham.	3 300 000
<i>Id.</i> <i>Id.</i> à Greenwich, établi sur arcades et en grande partie dans l'intérieur de Londres.	5 300 000
Chemin de Blackvall, établi entièrement dans l'intérieur de la ville, servi par des machines fixes.	12 000 000
Chemins belges, prix moyen.	500 000
<i>Id.</i> des États-Unis, prix moyen.	250 000

CANAUX.

Les canaux anglais, pour la plupart à petite section, et ne pouvant porter que des bateaux dont la charge dépasse rarement 60 tonneaux, ont coûté moyennement.	580 000 fr.
Les canaux français, généralement à grande section, capables de porter des bateaux chargeant de 100 à 150 tonneaux, ont coûté moyennement.	500 000
Canal de Briare, à petite section.	466 000
<i>Id.</i> du Centre, à moyenne section (les bateaux chargent de 60 à 80 tonneaux).	480 000
Canal du Languedoc, à grande section.	550 000
<i>Id.</i> de Saint-Quentin, à grande section.	540 000

ROUTES.

Routes royales non pavées.	150 000
<i>Id.</i> pavées.	250 000

M. Perdonnet conclut de ces divers prix que, soit en France soit en Angleterre, dans les localités où l'on peut construire à volonté un chemin de fer ou un canal, la construction d'un chemin de fer destiné au transport des marchandises ne coûtera généralement pas plus que celle d'un canal.

382. TABLEAU des frais d'entretien annuel, par lieue, des chemins de fer, des canaux et des routes.

Chemins anglais, desservis par des chevaux (transit de 100 000 tonneaux).	2 000 à 2 500 fr.
Pour les chemins français, desservi par des chevaux (transit de 100 000 tonneaux).	1 200 à 1 500
Chemin de Darlington (transit, 559 000 tonneaux, poids brut, représentant 260 000 tonneaux en marchandises transportées; vitesse des locomotives, 4 à 5 lieues à l'heure).	16 000
Chemin de Liverpool (vitesse moyenne, 8 à 9 lieues à l'heure; transit annuel, 525 000 tonneaux, poids brut).	23 000
Chemin de fer de Saint-Germain (vitesse moyenne, 8 à 9 lieues à l'heure; circulation annuelle 1 500 000 voyageurs, représentant 500 000 tonnes, poids brut).	1 ^{er} mois. . . 17 000 mois suivants. . . 16 000
Canaux français	3 000 à 9 000
Canal du Centre (mal entretenu).	3 600
<i>Id.</i> de Briare.	6 400
<i>Id.</i> de Languedoc.	8 400
Canaux anglais.	9 000 à 16 000
Canal de grande jonction.	16 000
<i>Id.</i> de Kennet et Avon.	10 400
<i>Id.</i> de Leeds à Liverpool.	9 200
Routes françaises départementales.	800 à 1 000
<i>Id.</i> royales	2 000
<i>Id.</i> anglaises, 3 500 à 4 000 et même.	4 500

383. Différents modes de traiter de la compagnie d'un chemin de fer avec les entrepreneurs.

1^o Mode à forfait. Un entrepreneur s'engage à construire toute la voie, ou simplement une partie, cas qui oblige de traiter avec plu-

sieurs entrepreneurs, pour une somme déterminée. Les inconvénients de ce mode de traiter sont que les entrepreneurs font fortune ou faillite, et qu'on ne peut pas modifier les plans pendant l'exécution.

2^o Mode par série de prix. Un ou plusieurs grands entrepreneurs, ou un grand nombre de petits entrepreneurs, s'engagent à construire la voie à raison de tant par mètre de chaque espèce d'ouvrage. C'est le meilleur mode de traiter, aussi l'emploie-t-on généralement en France. Il vaut mieux traiter avec les grands entrepreneurs qu'avec les tâcherons.

3^o Mode en régie. La compagnie fait exécuter elle-même ses travaux, et elle paye ses employés et ses ouvriers; c'est le mode le plus dispendieux, mais il permet d'accélérer, autant qu'il est possible, l'exécution des travaux. Il y a du reste des travaux dont on ne peut évaluer d'avance la valeur, et que l'on ne peut faire exécuter que de cette manière.

4^o Mode en régie intéressée. La compagnie laisse aux directeurs de chantiers une partie de l'économie faite sur l'exécution des travaux, au-dessous des prix portés aux devis; c'est le mode qui offre le moins de garantie d'une bonne exécution des travaux.

384. TABLEAU des frais de traction immédiate, par tonne à un kilomètre, sur quelques chemins de fer.

DÉTAILS.	CHEMINS DE			
	Roanne à St.-Étienne, vit. 4 lieues.	St.-Étienne à Lyon.	Darlington, vit. 4 lieues.	Liverpool, ann. 1833-34, vit. 6 lieues.
Combustible.	fr. 0,0123	fr. 0,0097	Pour les 4 prem. articles : fr. 0,0096	fr. 0,0091
Chauffeurs.	0,0040	0,0034	0,0096	0,0022
Service des pompes.	0,0010	0,0013	0,0096	0,0010
Graissage.	0,0011	0,0005	pour les 2 suiv. fr. 0,0099	0,0024
Matériaux pour réparation des locomotives et main-d'œuvre.	0,0098	0,0175	0,0120	0,0249
Waggon.	0,0120	0,0120	0,0120	0,0114
Totaux.	0,0402	0,0444	0,0315	0,0510

Sur les chemins desservis par des chevaux (vitesse de 2 lieues à l'heure), la traction immédiate par tonne à 1 kilom. revient à 0^f,022.

385. *TABLEAU du prix de revient total du transport, par tonne à 1 kilomètre, d'après M. Wood, sur un chemin de niveau d'environ 39,000 mètres de longueur, les wagons revenant à vide, et le transit étant de 200,000 tonnes par an.*

Locomotion.	fr.
Entretien du chemin.	0.024
Frais de wagons, y compris le chargement et le déchargement.	0.013
Frais généraux.	0.016
	0.0065
TOTAL.	0.0595

386. *TABLEAU des poids utiles et bruts trainés par une locomotive sur quelques chemins de fer, et des rapports de ces poids.*

DÉSIGNATION DES CHEMINS.	POIDS TRAINÉS		RAPPORTS des poids.
	utiles.	bruts.	
Liverpool à Manchester.	tonn. 30,5	tonn. 47,5	0,64
Darlington (la machine traîne 63 tonn. dans un sens et revient à vide).	31,5	62,7	0,50
Saint-Étienne à Lyon (60 tonnes de poids utile dans un sens et 0 dans l'autre).	30,0	50,0	0,60
Roanne <i>id.</i>	30,0	50,0	0,60

387. *Prix total du transport (locomotion, entretien du chemin et surveillance), par voyageur, à un kilomètre, sur quelques chemins de fer.*

Chemin de Bruxelles à Malines (du 1 ^{er} mai 1835 au 30 avril 1836).	fr.
	0.01900
Chemin de Bruxelles à Anvers (du 1 ^{er} mai 1836 au 31 décembre 1836).	0.01277
Chemin de Bruxelles, Anvers, Termonde, et ensuite l'ouverture successive de Louvain, Tirlemont et Gand.	0.02445
Chemin de Saint-Germain (les 4 premiers mois, du 1 ^{er} septembre au 31 décembre 1837).	0.03170
Chemin de Saint-Germain (année 1838).	0.03480

Chemin de Liverpool à Manchester (moyenne de 2 années et 1/2, du 1 ^{er} janvier 1832 au 30 juin 1834).	0.04270
Chemin de Dublin à Kingston (du 17 décembre 1834 au 1 ^{er} mars 1838)	0.04360

388. *Transport sur plan automoteur.* Ce mode de transport est aussi coûteux que sur un chemin de niveau, à cause de l'usure des cordages (384); suivant la pente et la longueur du plan, le prix de traction immédiate varie de 0^f,04 à 0^f,06, par tonne transportée à un kilomètre. Sur un plan automoteur en ligne droite, des environs de Newcastle, la longueur de ce plan étant de 700 mètres, et la pente de 0^m,026 par mètre, les frais, par tonne à 1000 mètres, se sont répartis de la manière suivante :

Cordes.	fr.
	0.0155
Main-d'œuvre.	0.0223
Graissage.	0.0007
Entretien du mécanisme et intérêt du capital.	0.0025
TOTAL.	0.0410

389. *Transport sur un plan incliné au moyen de machines fixes.* Sur un de ces plans, de 800 mètres de longueur et de 57 millimètres de pente, pour un mouvement annuel de 136,000 tonneaux, la dépense par tonne à 1000 mètres a été pour

Cordes.	fr.
	0.0707
Main-d'œuvre.	0.0544
Combustible coûtant 6 fr. 25 c. la tonne.	0.0663
Intérêt à 5 p. 100.	0.0255
Graissage.	0.0185
Réparations.	0.0138
TOTAL.	0.2492

390. *Prix du transport sur canaux.* Le prix de traction immédiate (n° 384) sur canaux varie de 0^r,015 à 0^r,03 par tonne à 1 kilomètre, suivant la plus ou moins grande section du canal.

Canal de Mons à Condé (retour avec moitié charge).	fr.
	0.015
<i>Id.</i> de Saint-Quentin (retour à vide).	0.020
<i>Id.</i> de Clvros (retour avec charge complète).	0.016
<i>Id.</i> <i>Id.</i> (retour à moitié charge).	0.024
<i>Id.</i> de Languedoc.	0.017
<i>Id.</i> du Centre.	0.028
<i>Id.</i> de Briare.	0.030

Les frais d'entretien et les frais généraux sont aussi un peu moins élevés que pour les chemins.

Ainsi, quoique les frais de bateaux soient compris dans ces résultats, en séparant les frais de waggons de ceux de traction sur les chemins de fer, la dépense est encore un peu moins forte pour les canaux que pour les chemins de fer.

CINQUIÈME PARTIE.

Architecture.

ORDRES D'ARCHITECTURE.

391. *Module.* Pour comparer entre elles les dimensions des différentes parties d'un même ordre d'architecture, on prend pour unité le demi-diamètre de la colonne, que l'on appelle *module*; le module se divise en vingt quatre parties pour le dorique grec, le toscan et le dorique romain, et en trente-six parties pour les trois ordres élevés.

392. *Observations relatives aux tableaux suivants.* Nous avons réuni, planche première, les cinq ordres de Vignole, et nous y avons joint le dorique imité des Grecs; ce dernier est généralement employé sans piédestal, le fût de la colonne repose directement sur des marches remplaçant la plinthe qui sert de base à la colonne quand il y a un piédestal.

Dans les tableaux suivants, qui renferment les proportions des différentes moulures et membres de moulures qui composent chaque ordre, on va toujours de la partie supérieure de l'ordre à la partie inférieure.

Le nu du mur qui surmonte l'ordre, celui de l'architrave, du gorgerin et du fût, à sa partie supérieure, se trouvant sur le même aplomb, c'est-à-dire, faisant une égale saillie sur l'axe de la colonne, dans les tableaux suivants, les saillies de l'entablement et du chapiteau sont comptés à partir de ces nus, dont la saillie sur l'axe, pour les ordres :

Dorique grec. Toscan, Dorique romain, Ionique, Corinthien, Composite, est respectivement :

18,2 part. 19 part. 20 part. 30 part. 30 part. 30 part.

Pour la base de la colonne, les saillies sont comptées à partir du

nu de la partie inférieure du fût ; le sailli de ce nu , sur l'axe de la colonne , est de un module dans tous les ordres.

Les saillies du piédestal sont comptées à partir du nu du dé ; ce nu se trouve à l'aplomb de la plinthe et du tore inférieur de la base de la colonne ; sa saillie sur l'axe de la colonne est respectivement , pour les ordres précédents :

1 m. 3,73 p. 1 m. 9 p. 1 m. 10 p. 1 m. 14 p. 1 m. 14 p. 1 m. 14 p.

TABLEAU des proportions des différentes moulures et membres de moulures qui composent les différents ordres.

Table with columns for Dorique, Toscan, and various members of moldings like Entablement, Colonne, and Piédestal, with sub-columns for height and projection.

Large table for Dorique Romain and Ionique orders, detailing members of moldings and columns with height and projection measurements.

CORINTHIEN, 31 M. 24 P.

MEMBRES DE MOULURES qui composent l'ordre.		HAUTEUR.	SAILLIE.	MEMBRES DE MOULURES qui composent l'ordre.		HAUTEUR.	SAILLIE.
ENTABLEMENT, 5 m.							
Corniche, 2 m.	Filet de couronnement.	2	2 4	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Doucine.	10	2 4	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Filet.	1	1 30	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Talon. { En haut.	3	1 29	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	{ En bas.	10	1 27	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Larmier.	10	1 26	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Talon. { En haut.	3	1 25	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	{ En bas.	10	1 23	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Modillon.	12	1 22	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Filet.	1	27	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Quart de rond.	8	26	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Baguette.	2	20	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Filet.	1	19	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Denticules.	12	18	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Filet.	1	10	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
Talon. { En haut.	6	9,33	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
{ En bas.	2	3,5	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Baguette.	1	2,5	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Filet.	2,5	2,5	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Congé.	1	0 0	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Partie plane.	12,5	0 0	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Filet.	2	10	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Talon. { En haut.	8	9,5	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
{ En bas.	2	4,5	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Baguette.	14	4	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Première face.	4	2,67	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Talon. { En haut.	4	1,5	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
{ En bas.	12	1	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Deuxième face.	2	1	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Baguette.	10	0	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Troisième face.	4	0	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
COLONNE, 20 m.							
Chapiteau, 2 m. 12 p.	Quart de rond.	4		<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Filet.	2		<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Face du tailloir.	6		<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Hauteur de la lèvres du vase, 4 p.	13		<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Grandes volutes.	16	34	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Hauteur des petites volutes, 12 p.	18		<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Petites feuilles supérieures.	8	26	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Hauteur du rev. de ces feuilles, 4 p.	24	16	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Grandes feuilles.	24	16	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Hauteur de leur revers 6 p.	24	13	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Feuilles inférieures.	24	13	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Revers de ces feuilles, 6 p.			<i>Suite de la COLONNE.</i>			

COMPOSITE, 31 M. 24 P.

MEMBRES DE MOULURES qui composent l'ordre.		HAUTEUR.	SAILLIE.	MEMBRES DE MOULURES qui composent l'ordre.		HAUTEUR.	SAILLIE.
ENTABLEMENT, 5 m.							
Corniche, 2 m.	Filet de couronnement.	3	2	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Doucine.	10	2	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Filet.	2	1 26	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Talon. { En haut.	4	1 25	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	{ Au bas.	2	1 22	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Baguette.	2	1 21,5	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Larmier.	10	1 20	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Doucine, moitié fait partie de la mouchette; pour la moitié en-dessous du larmier.	3	1 6	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Filet.	2	1	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Talon. { En haut.	8	35	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	{ Au bas.	29	22	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Haut. du flet des denticules, 1 p.	16	28	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Denticules.	2	16	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Filet.	10	14	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Quart de rond.	2	4	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
Baguette.	1	2,5	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Filet.	2,5	2,5	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Congé supérieur.	34,5	0 0	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Partie plane.	14	14	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Congé inférieur.	2	14	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Filet.	4	11,67	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Cavet.	6	11	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Quart de rond.	2	5	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Baguette.	20	4	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Première face.	4	3,33	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Talon. { En haut.	16	0 0	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
{ Au bas.		0,67	<i>Suite de la COLONNE.</i>				
Deuxième face.			<i>Suite de la COLONNE.</i>				
COLONNE, 20 m.							
Chapiteau, 2 m. 12 p.	Quart de rond.	3		<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Filet.	1		<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Haut. de la face du tailloir, 8 p.	12		<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Dist. vert. de la face du tailloir au quart de rond circul. 4 p.	5		<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Hauteur du quart de rond, 8 p.	12		<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Hauteur de la baguette, 3 p.	5		<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Hauteur du flet, 1 p.	32	32	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Volutes.	24	16	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Grandes feuilles.	24	16	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Hauteur du rev. de ces feuilles, 8 p.	24	13	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Petites feuilles.	24	13	<i>Suite de la COLONNE.</i>			
	Hauteur du rev. de ces feuilles, 6 p.			<i>Suite de la COLONNE.</i>			

NOTA. Membre est le nom général qu'on donne à toute partie d'architecture, comme une frise, une corniche, etc. Une moulure prend aussi le nom de *membre*, et une moulure accompagnée d'un filet au-dessus ou au-dessous prend le nom de *membre couronné*.

TABLEAU comparatif des proportions des parties principales des ordres d'architecture.

DÉSIGNATION DES PARTIES.		DORIQUE grec.	TOSCAN.	DORIQUE romain.	IONIQUE.	CORINTHIEN.	COMPOSITE.	
		Mod. Part.	Mod. Part.	Mod. Part.	Mod. Part.	Mod. Part.	Mod. Part.	
Entablement.	Corniche.	1 2	1 8	1 12	1 27	2	2	
	Frise.	Saillie.	1 4.6	1 12	2	1 26	2 4	2
		Hauteur.	1 15	1 4	1 12	1 18	1 18	1 18
Architrave.	Hauteur.	1 15	1	1	1 9	1 18	1 18	
	Saillie.	1.95	4	4	10	10	14	
Chapiteau.	Hauteur.	18.85	1	1	24	2 12	2 12	
	Saillie.	9.1	10	10	10	13 ^m	12 ^r	
Colonne.	Fût.	Hauteur.	10 5.15	12	14	16 9	16 24	
		Diamètre en haut (a).	1 12.4	1 14	1 16	1 24	1 24	1 24
		Nomb. des cannelur.	20 ^b	0	20 ^b	24 ^m	24 ^m	24 ^m
Base.	Hauteur.	8	1	1	1 3	1	1	
	Saillie.	3.73	9	10	14	14	14	
Piédestal.	Corniche.	Hauteur.	10.4	12	12	20	28	28
		Saillie.	6.06	8	12	20	16	16
	Dé.	Hauteur.	2 9.9	3 16	4	4 32	5 8	5 8
Base.	Saillie sur le fût.	3.73	9	10	14	14	14	
	Hauteur.	11.7	12	20	20	24	24	
Hauteur totale.	Saillie	4.33	8	10	16	16	16	
	de l'entablement.	4 8	3 12	4	4 18	5	5	
	de la colonne.	11 8	14	16	18	20	20	
de l'ordre.	du piédestal.	3 8	4 16	5 8	6	6 24	6 24	
	de l'ordre.	19	22 4	25 8	28 18	31 24	31 24	
Entre-colonnement, mesuré d'axe en axe des colonnes.		»	6 16	7 12	6 18	6 24	6 24	
Portique sans piédestal.	Distance d'axe en axe des colonnes.	»	9 12	10	11 18	12	12	
	Ouverture de l'arcade entre les pieds-droits.	»	6 12	7	8 18	9	9	
Portique avec piédestal.	Distance verticale de la clef de l'arcade au-dessous de l'architrave.	»	1	2	1	2	2	
	Distance d'axe en axe des colonnes.	»	12 18	15	15	15	16	
Ouvverture de l'arcade entre les pieds-droits.	»	»	8 18	10	11	12	12	
	Distance verticale de la clef au-dessous de l'architrave.	»	1 4	1 8	2	1 24	1 24	

- (a) Le diamètre ne commence à décroître qu'à partir du tiers de la hauteur du fût; dans le dorique grec, il décroît depuis le bas.
 b Cannelures à arêtes vives; on ne fait qu'arrondir légèrement l'arête de séparation; la largeur des cannelures est égale à leur rayon.
 m Cannelures creusées en demi-cercle et séparées par un listel du tiers de leur largeur.
 n Cette saillie est celle de la lèvre du vase; cette lèvre est circulaire; au lieu que les parties qui la surmontent ont la forme indiquée planche première.
 r Cette saillie est celle du quart de rond; consulter le tableau page 465, et la planche première.
- Nota. Les colonnes des portiques doivent être engagées du 1/4 de leur diamètre dans les pieds-droits, c'est-à-dire qu'elles doivent saillir des 3/4 de leur diamètre.

Dans une colonnade, la distance des colonnes au mur de l'édifice est au moins égale à la distance des colonnes; elle est quelquefois double de cette distance, et même triple pour l'ordre corinthien.

Quelquefois les colonnes vont en s'amincissant depuis le bas jusqu'en haut; mais ordinairement on ne fait décroître leur diamètre qu'à partir du 1/3 de la hauteur du fût; et, afin qu'elles ne paraissent pas renfler en ce point, on ne les fait décroître que d'une manière progressive. Généralement la diminution du diamètre du fût est de 1/5 de son diamètre à sa base pour l'ordre Toscan, de 1/6 pour le Dorique romain, de 1/7 pour l'ordre Ionique, et il va à 1/8 pour le Corinthien et le Composite.

393. *Corniches des maisons d'habitation.* On proportionne leurs dimensions à l'importance de l'édifice, et lorsqu'on veut s'astreindre à leur donner les proportions d'un ordre d'architecture, on détermine ces proportions, en considérant la hauteur totale du mur (corniche comprise), comme étant celle de l'ordre complet adopté pour la corniche. Ainsi, la corniche devant être de l'ordre romain, et le mur ayant 12 mètres de hauteur, comme le dorique a 25 modules 8 parties ou 25,33 modules de hauteur totale, et sa corniche 1 module 12 parties ou 1,5 module (392), on a

$$25,33 : 1,5 :: 12 : x, \text{ d'où } x = 0^m,71.$$

x hauteur de la corniche à construire.

ÉPAISSEURS DES MURS.

394. *Formules empiriques données par Rondelet* (Traité sur l'art de bâtir) pour déterminer les épaisseurs des murs.

1° *Murs d'enceintes non couvertes.* D'après les observations de Rondelet, sur des édifices de tous genres, il résulte qu'un mur jouira d'une forte stabilité, s'il a pour épaisseur le 1/8 de sa hauteur, que le 1/10 lui procurera une stabilité moyenne, et le 1/12 le moindre degré de stabilité qu'il puisse avoir. Cependant, comme dans les édifices les murs se combinent les uns avec les autres, il en résulte qu'avec une moindre épaisseur, ils peuvent avoir quelquefois une stabilité suffisante.

Un mur tout à fait isolé résistera moins qu'un mur entretenu par

un autre à une de ses extrémités, et celui-ci, moins qu'un mur soutenu par un autre à chacune de ses extrémités. De plus, un mur soutenu par un autre à ses deux extrémités exige une épaisseur d'autant plus grande qu'il est plus long; et quand il est très-long, son épaisseur doit être la même que s'il était isolé.

Supposons que l'on a un espace rectangulaire non couvert à entourer de murs; soient AB et AB', figure 1^{re}, planche II, les dimensions de ce rectangle, c'est-à-dire les longueurs des murs; pour avoir leurs épaisseurs, au point A élevons une perpendiculaire AC égale à leur hauteur; du point C comme centre, avec un rayon égal au 1/8, au 1/10 ou au 1/12 de AC, suivant que la stabilité doit être grande, moyenne ou faible, décrivons un arc de cercle *mn*; menons la droite CB, qui rencontre l'arc *mn* au point *o*; du point *o* abaissons la perpendiculaire *or* sur AC, et *or* est l'épaisseur du mur dont la longueur est AB.

Pour avoir l'épaisseur du mur dont la longueur est AB', il suffit de mener CB', et du point *p*, où cette droite rencontre l'arc *mn*, d'abaisser la perpendiculaire *ps*, qui est l'épaisseur du mur dont la longueur est AB'.

Si l'espace à entourer n'était pas un rectangle, mais un polygone quelconque, on déterminerait l'épaisseur de chaque mur comme nous venons de le faire pour les murs AB et AB'.

Si tous les murs n'avaient pas la même hauteur, on opérerait encore de la même manière, mais en prenant la perpendiculaire AC égale à la hauteur de chacun d'eux.

Le triangle rectangle ABC donne $CB = \sqrt{AB^2 + AC^2}$. Les deux triangles semblables ABC et Cor donnent $or : Co :: AB : CB :: AB : \sqrt{AB^2 + AC^2}$, d'où on tire, en faisant $Co = \frac{AC}{8}$,

$$or = \frac{AC}{8} \times \frac{AB}{\sqrt{AB^2 + AC^2}},$$

ou

$$e = \frac{h}{8} \times \frac{l}{\sqrt{l^2 + h^2}}.$$

$or = e$ épaisseur du mur en mètres;
 $AC = h$ hauteur du mur en mètres;
 $B = l$ longueur du mur en mètres;

$\frac{1}{8}$ coefficient qui varie suivant l'exposition du mur au vent et la nature des matériaux, et que Rondelet fait encore varier de 1/8 à 1/12 pour les mêmes matériaux, suivant qu'il veut donner au mur une plus ou moins grande stabilité.

La construction graphique et la formule précédentes font voir que l'épaisseur d'un mur est d'autant plus grande que la hauteur et la longueur sont plus grandes.

2° Murs isolés. Si *l* est très-grande par rapport à *h*, ce qui peu arriver, pour un mur de clôture, par exemple, la formule précédente donne sensiblement,

$$e = \frac{h}{8}.$$

La construction graphique donne le même résultat, car, si la longueur AB est très-grande par rapport à AC, CB est sensiblement parallèle à AB, et la perpendiculaire *or* diffère peu du 1/8 de AC, valeur que l'on adopterait pour un mur isolé, c'est-à-dire, entretenu par aucun autre.

Pour qu'un mur isolé résiste à la poussée du vent, il suffit que le moment de son poids, par rapport à son arête extérieure de contact avec la surface du sol, autour de laquelle le vent tend à le faire tourner, soit au moins égal au moment de la poussée du vent, pris également par rapport à cette arête; ainsi, pour l'équilibre statique, il suffit que l'on ait, par mètre de longueur de mur,

$$eh\delta \times \frac{e}{2} = ph \times \frac{h}{2}, \quad \text{d'où on tire} \quad e = \sqrt{\frac{ph}{\delta}}.$$

p pression du vent contre le mur, en kilogrammes, par mètre carré de surface; elle est variable suivant les lieux; sur les bords de la mer, un vent qui vient du large peut donner $p = 278$ kilog. (152);

ph pression du vent contre un mètre de longueur de mur; comme elle agit avec un bras de levier $\frac{h}{2}$, pour renverser le mur, son moment est $ph \times \frac{h}{2}$;

δ poids d'un mètre cube de maçonnerie;

eh volume d'un mètre de longueur de mur, $eh\delta$ est son poids, et comme ce poids, qui est appliqué au centre de gravité du mur, a pour bras de levier $\frac{e}{2}$, il en résulte que son moment est $eh\delta \times \frac{e}{2}$.

Faisant dans cette formule $p = 278^k$, $h = 2^m$, 60 et $\delta = 2200^k$, on

en conclut, pour ce cas extrême, $e = 0^m,573$. La formule empirique précédente de Rondelet, en y faisant $h = 2^m,60$, et en supposant l très-grande, comme pour un mur de clôture, par exemple, donne seulement $e = 0^m,325$.

3° *Murs circulaires*. De tels murs pouvant être considérés comme formés d'une infinité d'autres d'une longueur infiniment petite et s'appuyant mutuellement par leurs extrémités, il en résulte qu'ils devraient subsister avec une épaisseur aussi faible que possible; c'est en effet ce que confirme l'expérience suivante: si on prend une grande feuille de papier, il sera impossible de la faire tenir debout en ligne droite, au lieu que si on la tourne en cylindre, elle se tiendra avec une certaine stabilité, quoique son épaisseur ne soit pas un millième de sa hauteur.

Cependant, comme les murs doivent avoir une certaine épaisseur pour pouvoir se soutenir solidement, il conviendra, pour déterminer l'épaisseur d'un mur circulaire, de considérer l'enceinte comme un polygone régulier de 12 côtés, ou, pour plus de facilité, de chercher simplement l'épaisseur d'un mur droit d'une longueur égale à la moitié du rayon de l'enceinte, et soutenu à ses deux extrémités. La formule du 1° devient alors

$$e = \frac{h}{8} \times \frac{\frac{r}{2}}{\sqrt{\frac{r^2}{4} + h^2}}$$

r rayon de l'enceinte.

4° *Murs des bâtiments couverts d'un simple toit*. Lorsque la charpente qui forme le toit d'un édifice est bien entendue, loin de nuire à la solidité des murs ou points d'appui qui la soutiennent, elle sert à les entretenir. Rondelet, pour établir une règle sûre et facile pour déterminer l'épaisseur à donner aux murs des édifices qui ne sont pas voûtés, a considéré que les entrails des fermes de charpente qui forment les combles étant toujours disposés dans le sens de la largeur L des bâtiments, ainsi que les poutres et les solives des planchers, doivent servir à entretenir les murs qui les supportent; mais qu'à cause de l'élasticité et de la flexibilité dont les bois sont susceptibles, ils ne laissent pas de fatiguer les murs en raison de la

plus grande largeur des espaces qu'ils renferment, et que par conséquent c'est la largeur et la hauteur des pièces qui doivent servir à déterminer l'épaisseur des murs. Ainsi, pour déterminer l'épaisseur des murs d'un édifice couvert d'un simple toit, quand rien ne s'appuie contre les faces de ces murs jusque sous les entrails de la ferme du comble, on prendra AB (figure 1, planche II) égal, non à la longueur du mur, mais à la largeur du bâtiment, et on décrira l'arc mn avec le $1/12$ de la hauteur du mur pour rayon, au lieu du $1/8$; ce qui donnera alors la formule

$$e = \frac{h}{12} \times \frac{L}{\sqrt{L^2 + h^2}}$$

L largeur du bâtiment.

Si les murs qui supportent le toit étaient appuyés à une certaine hauteur par d'autres constructions ou par des toits inférieurs qui s'appuient contre leurs faces extérieures, comme des appentis, ce qui a lieu dans les églises en basilique, l'arc mn serait décrit avec un rayon égal à la 24^e partie de la somme obtenue en ajoutant à la hauteur totale h du mur, la hauteur h' dont ce mur surmonte l'appui extérieur; on ferait $AC = h + h'$; h' est la distance verticale du faite de l'appentis, à la naissance du toit qui recouvre l'édifice. La formule précédente deviendrait alors

$$e = \frac{h + h'}{24} \times \frac{L}{\sqrt{L^2 + (h + h')^2}}$$

5° *Murs de maisons d'habitation*. Rondelet observe que dans les maisons ordinaires, où la hauteur des planchers ne dépasse pas $3^m,90$ à $4^m,87$, pour déterminer l'épaisseur des murs de refend, il ne faut avoir égard qu'à la longueur de l'espace qu'ils divisent, et au nombre de planchers qu'ils ont à soutenir; mais que, quant aux murs de face, qui sont isolés d'un côté dans toute leur hauteur, il faut avoir égard à la largeur du bâtiment et à son élévation.

Pour un *corps de logis simple*, figure 3, planche II, c'est-à-dire dont les mêmes pièces tiennent toute la largeur ou profondeur L du bâtiment, pour déterminer l'épaisseur des murs de face, on ajoutera la largeur $ab = L$ à la moitié de la hauteur du bâtiment sous la naissance du toit, et le $1/24$ de cette somme sera l'épaisseur à donner à

chacun des murs de face, au-dessus du socle ou première retraite du rez-de-chaussée. Cette règle revient à la formule

$$e = \frac{L + \frac{h}{2}}{24}.$$

Pour une construction moyenne, on augmente e de 0^m,027, et de 0^m.054 pour une construction solide.

Pour un *corps de logis double*, figure 11, planche II, c'est-à-dire, divisé en deux par un mur ab parallèle aux murs de face, on obtiendra l'épaisseur à donner aux murs de face, en ajoutant la largeur $cd = L$ à la hauteur du bâtiment, et en prenant le 1/48 de cette somme; ce qui revient à la formule

$$e = \frac{L + h}{48}.$$

Pour déterminer l'épaisseur à donner à un *mur de refend ef*, figure 11, planche II, on ajoutera à la longueur $dg = L'$ de l'espace que ce mur doit diviser, la hauteur H de l'étage, et on prendra le 1/36 de cette somme; ce qui revient à la formule

$$e = \frac{L' + H}{36}.$$

On peut ajouter 1/2 pouce (0^m,0135) pour chaque étage au-dessus du rez-de-chaussée; ainsi pour trois étages on ajouterait 0^m,0405 à la valeur de e pour avoir l'épaisseur du mur par le bas. Cette proportion est celle qui convient pour les constructions en briques ou en pierres d'une dureté moyenne. Si l'on est obligé d'employer des pierres tendres ou des tufs en usage dans quelques départements, au lieu de 1/2 pouce on ajoutera 1 pouce par étage à la valeur de e .

Pour déterminer l'épaisseur du mur ab , même figure, qui divise l'espace compris entre les murs de face, on opérerait de la même manière que pour le mur ef . Ainsi, en supposant que hi ne soit qu'une légère séparation ajoutant peu à la solidité, on ajouterait la longueur cd de l'espace divisé par ce mur, à la hauteur de l'étage, et on prendrait le 1/36 de la somme; le résultat trouvé serait l'épaisseur qu'il faudrait donner au mur, s'il ne s'élevait que d'un étage; pour

une plus grande hauteur, on ajouterait encore 1/2 pouce par étage au-dessus du rez-de-chaussée.

Pans de bois et cloisons. Lorsqu'au lieu d'un mur on substitue un pan de bois en charpente, hourdé en plâtre et ravalé des deux côtés pour ne former qu'une seule pièce, il suffit de lui donner la 1/2 d'épaisseur que devrait avoir, d'après la règle, le mur qu'il remplace. Pour une cloison légère qui ne porte pas du plancher, 1/4 de l'épaisseur du mur suffit.

Appuis isolés. L'épaisseur des appuis isolés maintenus d'aplomb par les parties environnantes varie du 1/8 au 1/12 de leur hauteur.

395. *Épaisseurs ordinaires des murs.* Les observations qui ont permis à Rondelet d'établir les formules (n° 394), lui ont fait reconnaître que pour les maisons d'habitation divisées en plusieurs étages par des planchers, et entrecoupées par des murs de refend ou des pans de bois, les murs de face avaient une épaisseur de 0^m,41 à 0^m,65; les murs mitoyens, de 0^m,435 à 0^m,54; et les murs de refend, de 0^m,325 à 0,487.

Les murs mitoyens renfermant ordinairement les cheminées des deux maisons voisines, leur moindre épaisseur 0^m,435 est plus forte que la plus faible 0^m,41 des murs de face.

396. *Espace occupé par les murs* Rondelet a aussi déterminé le rapport occupé par les murs et points d'appui, déduction faite de l'espace occupé par les portes et les fenêtres, à l'espace total occupé par les édifices; il a trouvé :

1° Pour les palais de Rome dont les pièces du rez-de-chaussée sont voûtées.	$\frac{2}{9} = 0,222$
2° Pour les bâtiments, avec planchers, du siècle de Louis XIV.	$\frac{1}{6} = 0,166$
3° Pour les bâtiments du siècle de Louis XV et ceux faits depuis.	$\frac{1}{8} = 0,125$
4° Pour les bâtiments actuels en briques.	$\frac{2}{17} = 0,117$

En ne déduisant pas les vides des portes et croisées, ce rapport est 1/4 pour les palais de Rome; 1/4 pour ceux avec planchers construits sur la fin du règne de Louis XIV ou au commencement de celui de Louis XV, et 2/15 dans les bâtiments en briques.

Dans plusieurs bâtiments de Paris, bâtis depuis le règne de Louis XV, les murs et points d'appui sont le 1/5, en ne déduisant pas les vides, et les 2/15 en les déduisant; c'est à peu près les proportions que donne la règle des moindres épaisseurs pro-

posée par Rondelet, c'est-à-dire les $\frac{3}{16}$ sans déduction des vides et les $\frac{2}{16}$ avec déduction.

Dans les palais de Paris et des environs, tels que le Louvre, les Tulleries, le Luxembourg, Versailles, les murs et points d'appui occupent les $\frac{7}{18}$, et les $\frac{5}{18}$ en déduisant les vides des portes, croisées, arcades et autres.

DIMENSIONS DES DIFFÉRENTES PARTIES D'UN ÉDIFICE.

397. *Façade d'un édifice.* L'axe de la façade d'un édifice quelconque doit passer par le milieu d'une ouverture, et les deux moitiés de la façade doivent être symétriques par rapport à cet axe.

Pour un pavillon isolé, la longueur de la façade est ordinairement égale à la hauteur.

Pour un édifice ordinaire, la longueur de la façade varie de une fois $\frac{1}{2}$ à trois fois la hauteur. Lorsque la destination du bâtiment exige une plus grande longueur, on varie la façade, en élevant des arrières ou avant-corps, ou simplement en la divisant par des chaînes saillantes; mais, malgré ces précautions, dans aucun cas, la largeur ne doit dépasser dix fois la hauteur, limite qu'il ne convient d'atteindre que pour les casernes, les magasins, les ateliers et autres bâtiments de ce genre.

A Paris, la hauteur des maisons est fixée à $11^m,70$ pour les rues de $7^m,80$ de largeur et au-dessous, à $14^m,62$ pour celles de $7^m,80$ à $9^m,42$, à $17^m,54$ pour celles de $9^m,75$, et à 18^m pour celles de 10^m et au-dessus. La largeur des rues à ouvrir est fixée à 10^m .

398. *Division de la hauteur d'un bâtiment.* Pour un bâtiment à deux étages, on divise la hauteur en seize parties égales, et on donne sept parties au rez-de-chaussée, cinq au premier étage et quatre au second.

Pour un bâtiment à un seul étage, on divise la hauteur totale en douze parties égales; sept parties pour le rez-de-chaussée et cinq parties pour l'étage.

M. Mandar donne, pour les maisons d'habitations, les hauteurs suivantes :

Caves.	Rez-de-chaussée.	Entre-sol.	
$2^m,27$ à $2^m,92$	$3^m,25$ à $4^m,22$ et jusqu'à $5^m,20$	$2^m,27$ à $2^m,60$	
1 ^{er} étage.	2 ^e étage.	3 ^e étage.	4 ^e étage.
$3^m,25$ à $3^m,90$ et jusqu'à $5^m,85$	$2^m,92$ à $3^m,00$	$2^m,60$ à $2^m,92$	$2^m,27$ à $2^m,60$

Le même auteur compte, pour les épaisseurs des voûtes des caves, de $0^m,41$ à $0^m,54$, et $0^m,11$ à $0^m,16$ de charge; et pour les épaisseurs des planchers, de $0^m,41$ à $0^m,49$, y compris carreau ou parquet et plafond.

399. *Arcades.* Quand on veut conserver aux murs la plus grande solidité possible, ce qui est indispensable dans les entrepôts, les magasins, etc., la hauteur de l'arcade est seulement égale à une fois la largeur entre les piliers; dans quelques édifices, elle est égale à une fois $\frac{1}{2}$ cette largeur, et dans les portiques ordinaires elle est égale à deux fois.

Quand les arcades sont séparées entre elles par un accouplement de colonnes, l'entr'axe des colonnes accouplées est la moitié de l'entr'axe des colonnes qui limitent l'arcade, c'est-à-dire, le $\frac{1}{3}$ de la largeur totale de l'arcade, mais seulement pour les ordres inférieurs; pour les ordres élevés, l'entr'axe des colonnes accouplées est le $\frac{1}{4}$ de l'entr'axe total.

Dans les arcades sur piliers, la largeur du pilier est ordinairement égale à la moitié de l'ouverture de l'arcade, c'est-à-dire, au $\frac{1}{3}$ de l'entr'axe des piliers, mais on peut diminuer cette largeur; ainsi, rue de Rivoli, les piliers ont $0^m,86$ de largeur, sur $0^m,65$ d'épaisseur, pour une distance de $2^m,86$ mesurée entre les piliers; ces arcades ont $5^m,83$ de hauteur; la distance des piliers aux pilastres qui leur font symétrie contre les devantures des boutiques est de $3^m,40$; les dés servant de base aux piliers ont $0^m,75$ de hauteur, et font saillie de $0^m,05$ tout autour de ces piliers.

400. *Frontons.* Leur montée varie du $\frac{1}{5}$ au $\frac{1}{6}$ de leur largeur.

401. *Portes et croisées.* Les deux dimensions des portes et croisées sont entre elles dans le même rapport que les dimensions des arcades (399); ainsi la hauteur varie de une fois à deux fois la largeur, et même, pour les entre-sol, la hauteur des croisées n'est quelquefois que les $\frac{2}{3}$ de la largeur; une croisée carrée prend le nom de *mezzanine*.

Pour l'ordre toscan, la hauteur des portes et croisées se fait égale à 1 fois $\frac{11}{12}$ la largeur, pour le dorique 2 fois, pour l'ionique 2 fois $\frac{1}{12}$ et pour le corinthien 2 fois $\frac{1}{6}$.

Dimensions des portes et croisées, et hauteurs des appuis, d'après M. Mandar.

Portes	Chartières	2 ^m .92 à 3 ^m .25 de largeur.				
	Cochères	2 ^m .60	2 ^m .92	id.		
	Bâtardes	1 ^m .30	1 ^m .62	id.		
	d'appartement	à 2 vantaux .	largeur . .	1 ^m .30	1 ^m .46	1 ^m .62
			hauteur . .	2 ^m .27	2 ^m .60	2 ^m .92
à 1 vantail . .	largeur . .	0 ^m .73	0 ^m .81	0 ^m .89		
	hauteur . .	1 ^m .95	2 ^m .27	2 ^m .44		

La hauteur des appartements étant successivement :

2^m,27 2^m,60 2^m,92 3^m,25 3^m,90 et 5^m,20 à 5^m,85,

la hauteur des lambris d'appui est respectivement :

0^m,76 0^m,81 0^m,86 0^m,89 0^m,97 1^m,06.

Larg. des Croisées	grandes . .	1 ^m .62 à 1 ^m .79	Hauteurs des	appuis . . .	0 ^m .89 à 1 ^m .06
	moyennes .	1 ^m .46 à 1 ^m .54		baguettes . .	0 ^m .35 à 0 ^m .41
	petites . .	1 ^m .14 à 1 ^m .30		balcons . . .	0 ^m .54 à 0 ^m .65
Châssis à tabatière, pour les combles.	Hauteur	0 ^m .81	0 ^m .97	1 ^m .14	1 ^m .30
		Largeur	0 ^m .65	0 ^m .73	0 ^m .81	0^{m}.97

402. Salles. Pour les grandes salles de réunion, le rapport de la hauteur à la largeur est :

- 1° Pour les salles voûtées, la largeur étant prise dans la nef, de 1 à 1,5
- 2° Pour les salles rondes voûtées. 1
- 3° Pour les salles oblongues couvertes d'un plafond. 1
- 4° Pour les salles carrées couvertes d'un plafond, moins de 1

La hauteur des salles d'habitation varie de moins de moitié la largeur à 1 fois cette largeur.

403. Galeries. Lorsque la longueur d'une salle dépasse deux fois la largeur, elle prend le nom de galerie, et lorsque la longueur d'une galerie est très-grande, par rapport à la largeur, on la divise en travées, soit par des arcs doubleaux soutenus par des pilastres ou des colonnes, soit par tout autre moyen ; plusieurs galeries du Louvre offrent des exemples de ce genre de division.

404. Salles à manger et tables, salles de billard, salons, chambres à coucher, etc. La largeur d'une table à manger est ordinairement de 1^m,30, quelquefois on lui donne 2^m,00, alors, on place au milieu un surtout ; dans tous les cas, elle se termine à chaque extrémité par un demi-cercle. Afin que les domestiques circulent facilement autour de la table, la distance qui la sépare des murs de la salle est de 0^m,90 à 1^m,00 à ses extrémités, et de 1,25 à 1,35 latéralement.

Pour une salle de billard, il faut un espace de 2 mètres entre le billard et les murs de la salle.

Superficies, en mètres carrés, des différentes pièces qui composent un appartement (M. Mandar).

	PETITS.		MOYENS.		GRANDS.	
Salons	15.19 à 22.79	34.19 à 45.58	56.98 à 68.38	et jusqu'à 79.77		
Salles	13.30	18.99	28.49	37.99	45.58	56.98
Chambres à coucher.	11.40	15.20	24.69	30.39	37.99	45.58
Cages d'escaliers. . .	9.50	13.30	18.99	24.69	30.39	37.99
Antichambres, Vestibules.	7.60	11.40	15.20	18.99	24.69	30.39
Cabinets.	5.70	7.60	11.40	15.20	18.99	22.79

405. Cheminées. La mode de placer des glaces sur les cheminées a fait diminuer de jour en jour leurs dimensions : les plus grandes n'ont que 1^m,95 de largeur, sur 1^m,30 de hauteur ; souvent celles des petits appartements n'ont que 1^m,25 de largeur, sur 1^m,00 de hauteur, et on en fait qui n'ont que 0^m,80 sur 0^m,80. La largeur des jambages et du manteau est le 1/10 environ de la largeur de la cheminée ; ainsi, pour les premières, elle est de 0^m,195 ; pour les secondes, 0^m,125, et pour les plus petites, 0^m,08. La profondeur varie de 0^m,45 à 0^m,80 (n° 258).

Proportions des cheminées, suivant les dimensions des pièces où elles se trouvent.

	PIÈCES					
	petites.		moyennes.		grandes.	
Largeur dans œuvre. . .	0 ^m .81	à 0 ^m .97	1 ^m .14	à 1 ^m .30	1 ^m .62	à 1 ^m .95
Hauteur de la tablette. .	0 ^m .89	0 ^m .97	0 ^m .97	1 ^m .03	1 ^m .14	1 ^m .30
Largeur de la tablette. .	0 ^m .27	0 ^m .32	0 ^m .35	0 ^m .38	0 ^m .40	0 ^m .43

406. *Escaliers.* Afin que l'on ne se fatigue pas trop en montant un escalier, la distance verticale de deux paliers successifs ne doit pas dépasser 2^m,50 à 3^m,00.

La hauteur de la rampe varie de 0^m,89 à 1^m,06.

La longueur des marches varie de 1^m,62 à 1^m,95 pour les grands escaliers, de 1^m,30 à 1^m,46 pour les moyens, de 0^m,97 à 1^m,14 pour les petits, et de 0^m,65 à 0^m,81 pour ceux de dégagement.

La hauteur des marches est moyennement égale à la moitié du giron; elle varie de 0^m,13 à 0^m,19, mais en sens inverse du giron.

On peut déterminer la hauteur ou la largeur des marches d'escalier, quand l'une de ces dimensions est connue, à l'aide de la formule empirique

$$2h + l = 0^m,65.$$

h hauteur de la marche;

l largeur du giron.

Si $h=0$, on a $l=0^m,65$, qui est le pas d'infanterie.

Si $l=0$, on a $h=0^m,325$, qui est l'espacement des échelons d'une échelle.

Faisant successivement dans la formule précédente *l* égale à

0^m,27 0^m,30 0^m,32 0^m,35 et 0^m,38,

on en conclut respectivement, pour *h*,

0^m,19 0^m,175 0^m,165 0^m,15 0^m,135,

valeurs qu'il convient d'adopter en pratique.

407. *Fourneaux potagers et fours à cuire le pain.* Les fourneaux potagers ont de 0^m,76 à 0^m,85 de largeur sur autant de hauteur.

Le diamètre des fours varie de 0^m,89 à 0^m,97 pour les petits, de

1^m,14 à 1^m,30 pour les moyens, et de 1^m,46 à 1^m,62 pour les grands. L'âtre du four s'établit à 0^m,89 ou 0^m,97 au-dessus du sol. La voûte ou chapelle s'élève de 0^m,35 à 0^m,45 au-dessus de l'âtre.

Les fours de manutention ont de 3^m,25 à 3^m,90 et même 4^m,20 de diamètre.

408. *Cour.* Pour qu'un carrosse puisse tourner sans difficulté, une cour doit avoir au moins 7^m,80 de côté.

409. *Composition de quelques maisons d'habitation, et dimensions de leurs différentes pièces.* Les dimensions des maisons rurales sont extraites de la Maison rustique du XIX^e siècle.

1^o Maison de journalier à un simple rez-de-chaussée.

Figure 2, planche II^e. — Plan de la maison.

- A cuisine dans laquelle on entre du dehors (4 mètres sur 4 mètres);
- B chambre à coucher à deux lits (4 mètres sur 3 mètres);
- C chambre à coucher d'enfant (4 mètres sur 2 mètres);
- D petite buanderie, avec porte sur le derrière (3 mètres sur 1 mètre);
- E petit garde-manger;
- F latrines, sous appentis;
- G petit bûcher, ou lieu fermé pour conserver les outils.

La maison a 8 mètres de largeur sur 5 mètres de profondeur dans œuvre, c'est-à-dire non compris les épaisseurs des murs, et une hauteur de 3 mètres, mesurée à la naissance du toit.

2^o Maison de journalier avec rez-de-chaussée et un étage au-dessus.

Figure 3, planche II^e. — Plan du rez-de-chaussée.

- A cuisine dans laquelle on entre du dehors (5 mètres sur 5 mètres);
- B buanderie (3 mètres sur 3 mètres);
- C petit garde-manger (2 mètres sur 1 mètre); devant est un petit espace où l'on peut loger quelques outils;
- D escalier pour monter à l'étage supérieur, et sous lequel on peut placer une petite provision de bois;
- O latrines placées sous un petit appentis.

Figure 4, planche II^e. — Plan du premier étage.

- E chambre à coucher à deux lits et un lit d'enfant, avec cheminée;
- F autre chambre à coucher;
- H armoire ou tambour fermé;

La maison a 8 mètres de largeur sur 5 mètres de profondeur dans œuvre, et 6 mètres de hauteur sous la naissance du toit.

3° *Maison double de journalier avec étage au-dessus et dépendances.* Cette disposition donne des habitations plus chaudes et plus économiques que la précédente.

Figure 5, planche II°. — Plan du rez-de-chaussée.

- A porche avec armoire ou rayons pour les outils ;
- B cuisine (5 mètres sur 4 mètres) ;
- C arrière-cuisine avec four ou buanderie (3 mètres sur 3 mètres) ;
- D garde-manger un peu enfoncé en terre, et en partie sous l'escalier E ;
- F bûcher ;
- O petit cellier ;
- H latrines ;
- L toit à porc, à double mur, pour éviter les infiltrations ; au-dessus se trouve un poulailier.

Figure 6, planche II°. — Plan du premier étage.

- M chambre à coucher à un lit ;
- N chambre à coucher à deux lits ;

Le bâtiment a 8 mètres de profondeur dans œuvre ; il a 16 mètres de face au rez-de-chaussée, 8 mètres pour chaque habitation ; au 1^{er} étage, la face n'a plus que 8 mètres, 4 mètres pour chaque habitation ; les dépendances, qui ont 3 mètres de largeur, sont disposées sous appentis de chaque côté du corps principal du bâtiment. Le corps principal a 6 mètres de hauteur depuis la naissance du toit, les dépendances ont 3 mètres de hauteur.

4° *Maison d'éclusier (canal du Centre).* Elle est destinée à loger la famille de l'éclusier, à recevoir les produits d'un jardin, et à placer une vache et un cochon.

Figure 7, planche II°. — Plan du rez-de-chaussée.

- A pièce d'entrée à cheminée, contenant un lit, et pouvant servir de salle à manger (5 mètres sur 4 mètres) ;
- B chambre à coucher contenant deux lits (5 mètres sur 3 mètres) ;
- C pièce dans laquelle communique le four ; elle peut servir à la fois de cuisine et de salle à manger (3 mètres sur 4 mètres) ;
- D four de 1^m,60 de diamètre.
- E escalier pour descendre à la cave, qui est un berceau régnant sous toute la profondeur de la maison, et qui a 3^m,10 de largeur, sur 2^m,30 de hauteur à la clef.
- F escalier pour monter au grenier, qui occupe tout le premier étage, et que l'on peut disposer, au besoin, pour recevoir des lits ;
- GG appentis de 3 mètres sur 5 mètres et 2^m,50 de hauteur, servant, l'un de magasin, et l'autre d'écurie pour recevoir deux vaches et deux cochons.

Le rez-de-chaussée a 2^m,60 de hauteur ; la porte d'entrée a 0^m,90 de largeur et les fenêtres 0^m,80 ; le grenier a 2 mètres de hauteur sous la faite, il est éclairé

par des lucarnes rectangulaires placées dans les murs, à l'aplomb de la porte et des fenêtres du rez-de-chaussée.

La maison a 8 mètres de largeur, sur 7 mètres de profondeur dans œuvre.

5° *Habitation et dépendances pour un petit cultivateur exploitant 2 à 3 hectares de terre, exerçant un art agricole et mettant ses récoltes en meules.*

Figure 8, planche II°. — Plan du rez-de-chaussée.

La partie *abcd* est surmontée d'un étage distribué comme le rez-de-chaussée, et contenant les chambres à coucher ; les parties latérales *adef* et *bcdgh* sont des appentis dont la naissance s'élève au niveau du premier étage. Les combles du corps principal et des appentis, qui ont une assez forte pente, sont encore disposés en greniers, et, au besoin, dans les combles du corps principal, on peut placer des chambres de domestiques.

- A porche d'entrée ;
- B bûcher ;
- C cuisine (6 mètres sur 6 mètres) ;
- D atelier pour placer un métier ou autre machine (4 mètres sur 9 mètres) ;
- E arrière-cuisine ou buanderie (3 mètres sur 4 mètres) ;
- F escalier conduisant au premier étage ;
- O garde-manger ;
- I magasin à fourrage (3 mètres sur 2^m,50) ;
- K étable pour deux ou trois vaches (3 mètres sur 4 mètres) ;
- L laiterie (3 mètres sur 4 mètres) ; au-dessus de la laiterie et de l'étable se trouve le magasin à paille ;
- M magasin aux outils et instruments, et servant aussi de cellier (3 mètres sur 4 mètres) ;
- N magasin aux racines, servant aussi d'aire à battre (3 mètres sur 4 mètres) ; au-dessus sont des greniers.
- V réduit pour deux ou trois porcs (2 mètres sur 2 mètres) ;
- P latrines ;
- R poulailier ;

Le corps principal *abcd* a 10 mètres de largeur sur 9 mètres de profondeur et 6 mètres de hauteur.

La cuisine et l'atelier sont élevés à 0^m,50 au-dessus du sol ; le magasin à fourrages, la buanderie, l'étable et la porcherie sont au niveau du sol ; la laiterie, le cellier et le magasin aux racines sont un peu au-dessous.

6° *Petite maison de ferme pour un propriétaire-cultivateur exploitant de 10 à 12 hectares de terre à froment de première classe, et mettant ses récoltes en meules.*

Figure 9, planche II^e. — Plan du rez-de-chaussée de toute la ferme.

- A espace couvert par un petit toit en forme de fronton, reposant sur les deux poteaux *dd'* ;
 D cuisine par laquelle on entre (4 mètres sur 5 mètres) ;
 F arrière-cuisine, ou buanderie avec escalier pour monter au premier étage (2 mètres sur 3 mètres) ;
 E garde-manger (1 mètre sur 1 mètre) ;
 G Salle à manger ou de réception (3^m,50 sur 4 mètres) ;
 I cabinet du fermier (3^m,50 sur 4 mètres) ;

La partie *a a' a'' a'''* forme le bâtiment d'habitation, qui a un premier étage pour recevoir le maître et sa famille pendant la nuit ; les domestiques peuvent coucher dans les combles, qui sont très-élevés, et forment en quelque sorte un second étage. Ce bâtiment central a 8^m,00 de largeur, sur 7 de profondeur, et 6 mètres de hauteur sous les naissances du toit.

Sous tout le bâtiment central se trouve un étage souterrain auquel on descend par l'escalier B ; cet étage souterrain comprend un fournil placé sous la salle G, un cellier aux boissons placé sous la cuisine D, la masse du four se trouve dans l'angle de ce cellier ; enfin, deux celliers aux racines, placés, l'un sous le cabinet I, et l'autre sous les parties EFH.

- K hangar aux voitures (4 mètres sur 4 mètres) ;
 L laiterie (3 mètres sur 4 mètres) ;
 M échaudoir pour la laiterie (4 mètres sur 1^m,50) ;
 N étable pour cinq à six vaches (9 mètres sur 4 mètres) ;
 O porcherie ;
 P latrines ;
 V magasin à foin (5 mètres sur 4 mètres) ;
 R sellerie, hache-paille, coffre à avoine (2^m,50 sur 4 mètres) ;
 S écurie pour deux chevaux (4 mètres sur 4 mètres) ;
 T aire à battre avec grenier au-dessus (7 mètres sur 4 mètres) ;
 U basse-cour ; la partie couverte est divisée en compartiments, l'autre partie n'est pas couverte.

Les magasins à paille sont au-dessus de la laiterie, de la sellerie et de l'écurie. Les combles des bâtiments latéraux sont très-inclinés et à deux pans, ce qui permet d'y placer les greniers et magasins.

- Z puits ou pompe ;
 Y tas de fumier ;
 X Fosse à purin.

Au delà du fumier, sont rangées les meules de récoltes.

7^o Bâtiments d'habitation et d'exploitation pour une ferme en pays de plaine, où on exploite 34 hectares en terre à froment de première classe, et où on récolte, terme moyen, dans un assolement de cinq années, 390 hectolitres de froment et 210 d'orge, semence déduite ; 1060 quintaux métriques de paille et autant de foin. Les bêtes de trait sont 3 chevaux de taille moyenne ; les bêtes de rente, nourries constamment à l'étable, 20 vaches du poids de 350 à 400 kilog. ; 1 taureau, 4 veaux, 6 porcs et des oiseaux de basse-cour. Une partie des récoltes des céréales seule est engrangée, l'autre est mise en meules.

Figure 10, planche II^e. — Plan du rez-de-chaussée de tous les bâtiments.

La maison d'habitation occupe la partie *a a' a'' a'''* ; elle a un premier étage pour recevoir le personnel de la ferme pendant la nuit ; on peut, au besoin, faire des chambres à coucher de domestiques sous les combles.

- m cuisine (5 mètres sur 5^m,50) ;
 n arrière-cuisine servant de fournil et d'échaudoir pour la laiterie, elle contient l'escalier qui conduit à l'étage supérieur (3 mètres sur 5 mètres) ;
 p salle de réception ou à manger (4^m,25 sur 4 mètres) ;
 q cabinet du fermier (4^m,25 sur 4 mètres).

Sous ce rez-de-chaussée, se trouve un étage demi-souterrain, composé :

1^o D'une laiterie voûtée, de 5 mètres sur 4^m,50, placée sous l'arrière-cuisine *n* et une partie de la cuisine *m* ; on descend à la laiterie par l'escalier *r* placé sous le hangar A. La laiterie est garnie de tables en pierre et dallée ; un dégorgeoir, communiquant avec un puisard, produit l'écoulement des eaux ;

2^o D'un cellier aux boissons et au charbon, placé sous le cabinet *q* ;

3^o De deux celliers aux racines et aux pommes de terre, placés, l'un sous la cuisine *m*, et l'autre sous la salle à manger *p* ; on descend aux celliers par l'escalier voûté *s*.

- A petit hangar, par lequel on entre dans l'arrière-cuisine, et descend à la laiterie ; il sert à faire sécher les ustensiles de celle-ci (4 mètres sur 1^m,50) ;
 B garde-manger (1^m,50 sur 1^m,50) ;
 C étable pour les vaches qui vèlent, malades ou à l'engrais, et un taureau (4 mètres sur 6 mètres) ;

- D étable pour vingt-quatre vaches (14 mètres sur 6^m,50);
 E étable pour quatre veaux (2 mètres sur 3 mètres);
 F réduit pour les ustensiles de pansement des vaches;
 G magasin ou hangar à foin (9 mètres sur 4 mètres);
 H toits à porcs; I latrines pour les hommes (6 mètres sur 5 mètres);
 K écurie pour trois chevaux (6 mètres sur 4 mètres);
 L sellerie, hache-paille, coffre à avoine (6 mètres sur 2 mètres);
 M hangar pour les voitures et instruments (8 mètres sur 6 mètres);
 N grange (10 mètres sur 6 mètres);
 O basse-cour;
 P bûcher;
 Q latrines pour le fermier et les servantes;
 R niche à chien;
 SSS réservoirs à urine;
 T puits ou citernes, avec auge pour abreuver les animaux.

Le tas de fumier et la fosse à purin sont placés en dehors, devant les étables. Les meules de récoltes sont également placées en dehors et en vue de la maison d'habitation.

L'étage souterrain a 2^m,50 de hauteur, le bâtiment d'habitation 6 mètres, les étables et les écuries 4 mètres, la grange et le magasin à fourrage 5 mètres.

Toute la superficie du terrain occupé par l'établissement est de 7 ares ou 700 mètres carrés; la façade a 24 mètres de longueur, et la profondeur est de 29^m,50.

Le bâtiment d'habitation couvre 100 mètres carrés, et les bâtiments d'exploitation 400; en tout 500 mètres carrés ou 5 ares. Le magasin à foin et les greniers, au-dessus des étables, des écuries et des hangars, présentent une capacité de 400 mètres cubes, ce qui est suffisant pour loger les fourrages nécessaires pour quatre mois d'hivernage.

8° *Maison de ville, composée d'un rez-de-chaussée et d'un premier, pour une seule famille.* On suppose, comme cela a lieu généralement, que l'on ne peut prendre jour que sur deux faces.

Figure 11, planche II°. — Plan du rez-de-chaussée.

- A cage de l'escalier (5^m,70 sur 2^m,75);
 A' vestibule et antichambre (5^m,70 sur 2^m,50);
 B office (3^m,70 sur 2^m,75);
 C cuisine (5^m,30 sur 3^m,70);
 D salle à manger (5^m,30 sur 7^m,70);
 E buffet;
 E' serre;
 F salon (8^m,00, sur 7^m,70).
 G chambre à coucher (5^m,30 sur 6 mètres, comptés du devant de l'alcove);
 H garde-robe;
 I dégagement avec escalier pour monter à un petit entresol placé au-dessus des cabinets;
 J cabinet de toilette;
 K armoires.

Le vestibule au rez-de-chaussée, et le palier de l'escalier dans les étages supérieurs doivent, autant que possible, donner entrée à la cuisine et à l'antichambre ou pièce d'introduction, et il conviendrait que l'antichambre communiquât directement avec la salle à manger, le salon et la chambre à coucher, afin de rendre toutes les pièces de l'appartement indépendantes les unes des autres.

Fig. 12, planche II°. — Plan du 1^{er} étage.

- L antichambre;
 MMMM chambres à coucher;
 NNN chambres de domestiques;
 PPP cabinets;
 OO cabinets d'aisance;
 R escalier conduisant au grenier.

9° *Maison de campagne, projetée par M. Mandar, pour être construite sur le penchant d'un coteau, ce qui a permis de mettre le premier étage au niveau de la cour, du côté de la montagne, et le rez-de-chaussée au niveau du jardin, sur les trois autres faces de la maison.* Le bâtiment principal est un pavillon carré de 11^m,70 de côté; le rez-de-chaussée a 2^m,65 de hauteur, non compris l'épaisseur du plancher, qui est de 0^m,38; le premier a 3^m,17, et son plancher 0^m,35; le second, 2^m,92, et son plancher 0^m,30; le troisième, 2^m,44, et son plancher 0^m,27.

Figure 13, planche II°. — Plan du premier étage.

- A côté de la cour;
 A' côté faisant face au jardin;
 B vestibule par lequel on entre du côté de la cour;
 B' escalier conduisant aux étages supérieurs; il est éclairé par le toit, qui est surmonté d'un belvédère;
 C salle à manger dans laquelle est un poêle;
 Pour une maison de ville, il faudrait éviter de passer directement du vestibule dans la salle à manger.
 DD buffets;
 E salon (3^m,90 sur 6 mètres);
 F second vestibule par lequel on entre du côté du jardin;
 G chambre à coucher principale (3^m,90 sur 5^m,85);
 H cabinet de toilette (1^m,46 sur 2^m,90);
 I boudoir contenant un canapé (2^m,03 sur 3^m,25). La cheminée, ainsi que celles du salon et de la chambre à coucher, est placée sous les appuis des fenêtres;

- K lieux à l'anglaise (1 mètre sur 1^m,46); il y en a d'autres placés dans les angles de l'escalier;
- L chambre de domestique (1^m,80 sur 3^m,25);
- M terrasse placée au niveau du premier étage, et régnant sur toute la façade du côté du jardin (largeur 1^m,90);
- N escalier à double rampe pour descendre de la terrasse au jardin;
- N/N' escaliers pour descendre de la cour dans le jardin, sans passer par la maison.

Le rez-de-chaussée contient :

Une cuisine placée sous la salle à manger C; elle communique au dehors par une porte placée au pied de l'escalier N'. Un escalier, qui débouche sous l'escalier B' du premier étage, établit une communication intérieure entre le premier étage et le rez-de-chaussée, et facilite le transport des plats, de la cuisine à la salle à manger;

Une office et des dépendances de la cuisine, placées sous le salon E;

Une salle de bain placée sous le vestibule F;

Une salle de billard placée sous la chambre à coucher G et le cabinet de toilette H; elle communique au dehors par une porte placée au pied de l'escalier N';

Une cave placée sous le boudoir I et la chambre de domestique L;

Une grotte sous la terrasse.

Figure 14, planche II^e. — Plan du deuxième étage.

- M antichambre;
- OO couloirs de 0^m,81 de largeur;
- PPPP chambres contenant chacune une alcove de 2^m,10 sur 1^m,13;
- QQQ cabinets de toilette;

Le troisième étage est distribué comme le deuxième, à cela près que l'on diminue le cabinet placé au-dessus du vestibule pour prendre les lieux à l'anglaise.

Au premier, les cheminées sont placées en face des fenêtres; au deuxième, elles sont dans les entr'axes, et au troisième, dans les angles.

La grille d'entrée dans la cour A, se trouve en face du bâtiment principal; et tous les bâtiments accessoires, logement du jardinier et ses dépendances, basses-cours, écuries, remises, étales, laiterie, poulailler, colombier, volière, sont disposés autour de la cour. Derrière les bâtiments accessoires, à droite, quand de l'extérieur on entre dans la cour, se trouve le jardin fleuriste, en avant duquel, sur l'alignement du pavillon principal, se trouve l'orangerie.

410. *Bains.* A l'établissement des bains Saint-Sauveur, rue Saint-Denis, à Paris, les cabinets ont 3^m,15 de longueur, 1^m,56 de

largeur et 2^m,30 de hauteur au rez-de-chaussée, 2^m,16 au premier et 2^m,28 au second. Les corridors, dans lesquels ouvrent tous les cabinets, ont 2^m,60 de largeur et une hauteur égale à celle des cabinets. Il conviendrait, pour que la vapeur ne se déposât pas sur les habillements des baigneurs, que chaque cabinet fût divisé en deux parties séparées, l'une pour la toilette et l'autre pour le bain (264).

411. *Salle de spectacle.* Pour que les spectateurs ne soient pas gênés, il faut compter sur un espace de 0^m,50 en largeur et 0^m,75 en longueur, c'est-à-dire que la distance d'axe en axe de deux banquettes consécutives doit être de 0^m,75.

Pour que tous les spectateurs voient bien ce qui se passe sur la scène, le parterre doit aller en s'élevant de 0^m,10 à 0^m,13 par banquette; et pour les galeries, une droite, s'appuyant sur les arêtes des banquettes, doit venir rencontrer l'arête de l'avant-scène, et même passer au-dessous, si cela est possible.

La largeur des couloirs doit être de 2^m,00 au moins; elle va à 3^m,00 et même plus, quand chaque galerie contient un grand nombre de spectateurs, et qu'il n'y a que deux escaliers pour descendre.

412. *Magasins à blé.* Pour conserver le blé, on l'étale en couches sur les planchers des divers étages du magasin; l'épaisseur des couches est de 0^m,50 pour le blé d'un an, de 0^m,60 pour celui de deux ans, et de 0^m,70 pour celui de trois. On laisse entre les couches et le mur un espace libre de 1^m,00 de largeur, et dans le sens de la longueur, tous les 15 à 20 mètres, on interrompt les couches sur une distance de 4^m,00 à 5^m,00; cela permet de changer le blé de place pour l'aéragé.

Dans les grandes villes, on établit des magasins à blé qui ont jusqu'à huit étages, y compris les combles et le rez-de-chaussée, que l'on utilise comme les autres étages. La hauteur de chaque étage est de 3^m,00, cela suffit pour aérer le blé, auquel on fait décrire, en le lançant à la pelle, une courbe dont la hauteur est de 2^m,50. La longueur des greniers dépend de leur importance, et leur largeur varie de 12 mètres au minimum, à 20 mètres au maximum.

On calcule les dimensions de murs et des poteaux pour résister au poids du blé emmagasiné; le blé pèse moyennement 75 kilog. l'hectolitre.

Les poteaux soutenant les planchers sont espacés de 4 à 5 mètres, et, afin d'éviter le tassement provenant de la dessiccation du bois, on place les poteaux des divers étages bout à bout, sans les interrompre par des pièces de bois placées à plat; la dessiccation ne change pas la longueur des pièces de bois, au lieu que normalement aux fibres, le sapin diminue de $\frac{1}{75}$, et le chêne de $\frac{1}{83}$. Le bois du balancier de la machine à vapeur de Chaillot, dont la dessiccation s'est opérée à une température assez élevée, a diminué, d'après M. Mary, de $\frac{1}{33}$.

413. *Écuries.* L'espace occupé par un cheval est de 2^m,60 en longueur, sur 1^m,30 à 1^m,45 en largeur, quand une simple barre de bois le sépare de son voisin; s'il en est séparé par une cloison, cette largeur varie de 1^m,50 à 1^m,70; les largeurs sont comptées entre les barres ou cloisons de séparation. Pour un seul rang de chevaux, la largeur de l'écurie est de 4^m,30, ce qui donne un passage de 1^m,70 derrière les chevaux. La largeur de l'écurie est portée à 8^m,60, s'il y a deux rangs de chevaux, avec un passage le long de chaque mur, c'est-à-dire si les chevaux d'un rang font face à ceux de l'autre; et elle est de 7^m,70, si les chevaux font face aux murs, c'est-à-dire s'il n'y a qu'un passage entre les deux rangs.

La hauteur des écuries doit être de 3^m,00 au moins; 3^m,80 est une hauteur convenable.

La mangeoire a son arête supérieure à 1^m,10 au-dessus du sol; sa profondeur est de 0^m,25, et sa largeur de 0^m,30 en haut et 0^m,20 au fond.

Le ratelier a son arête inférieure à 1^m,70 au-dessus du sol, et son arête supérieure à 2^m,20; son inclinaison est telle, qu'avec ces hauteurs, sa largeur est de 0^m,65; ses fuscaux sont écartés de 0^m,08 à 0^m,13.

Les fenêtres sont demi-circulaires, leur diamètre est de 0^m,90 à 1^m,00; on les place à 1^m,70 ou 1^m,80 au-dessus du sol, et le moins possible en face des chevaux, afin que la lumière ne leur arrive pas directement sur les yeux; les écuries doivent être convenablement éclairées (87).

Pour la santé des chevaux, une écurie doit contenir le plus grand volume d'air possible; cet air doit pouvoir se renouveler facilement à l'aide de nombreuses ouvertures pratiquées dans le haut des murs en regard, et disposées de manière que les chevaux ne soient pas dans les courants d'air qui s'établissent; des ouvertures pratiquées dans le bas des murs faciliteraient beaucoup le renouvellement de l'air; il convient, du reste, de pouvoir fermer ces ouvertures à volonté.

Le sol des écuries doit être solide, afin de résister aux pieds des chevaux; tout à fait imperméable, pour que les urines ne s'y infiltrent pas; et légèrement incliné sous les chevaux, afin que les urines se dirigent facilement vers les rigoles pratiquées pour leur donner écoulement hors de l'écurie. Les pavés en grès et les madriers en bois conviennent à la confection du sol des écuries.

414. *Étables.* Une vache, plutôt grosse que petite, nourrie constamment à l'étable ou en partie au pâturage, exige un espace de 1^m,50 en largeur, sur 2^m,40 à 2^m,60 en longueur, y compris l'auge et le ratelier. Un bœuf de trait, plutôt fort que de petite taille, exige un espace de 1^m,35 en largeur, sur 2^m,40 à 2^m,60 en longueur; et un bœuf d'engrais de forte taille, le même espace que les vaches. Un passage de 1 mètre est suffisant derrière les bêtes à cornes. La hauteur qu'il convient de donner aux étables est de 3^m,00 à 3^m,50.

Comme pour les écuries (413), il convient de pratiquer dans les murs des ouvertures pour faciliter l'aérage. Il convient également que les étables soient suffisamment éclairées.

Des rigoles pratiquées derrière les animaux donnent un écoulement facile aux urines. Le sol des écuries doit être incliné de 0^m,01 par mètre vers ces rigoles, et être élevé de 0^m,20 au-dessus du sol environnant; il convient de le faire en pavés larges, pour que les pieds des vaches y reposent facilement; les dalles, les briques, les planches, une couche de béton ou de ciment hydraulique, sont les matériaux qu'il convient d'employer, au moins pour la place où se tient le bétail.

415. *Bergeries.* Les moutons de forte taille, dont $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{5}$ consistant en brebis portières, et qui ne sont soumis à la tonte qu'une fois par an, exigent 0^m,41 de longueur de ratelier chacun, et

occupent, en moyenne, 1^m^c,05 de surface. Ceux qui sont ton-
dus deux fois par an exigent 0^m,35 de ratelier et 0^m^c,95 de sur-
face. Les agneaux de 4, 6 ou 9 mois exigent respectivement
0^m,24, 0^m,27 et 0^m,30 de ratelier. On comprend dans l'estimation
de la surface convenable à chaque bête, l'espace nécessaire aux
rateliers, aux cloisons de séparation, au passage et aux agneaux.

Les portes et les fenêtres d'une bergerie doivent être vastes; le
sol et le bas des murs doivent être cimentés et imperméables; il
serait convenable qu'il y eût, auprès de la bergerie, une petite
cour où les moutons puissent aller prendre l'air à volonté. Du
reste, il convient, comme pour les étables, de disposer, vers le haut
et vers le bas des murs, des ouvertures qui renouvellent constam-
ment l'air de la bergerie. Un magasin de 4^m,00 de largeur, sur
12 à 13 mètres de longueur et 4^m,50 de hauteur, suffit au service
journalier des fourrages et racines pour 500 à 800 bêtes, et pen-
dant le temps de la tonte, pour tous les travaux de cette opéra-
tion.

La hauteur d'une bergerie varie de 2^m,60 à 3^m,00, elle atteint même
quelquefois 4 mètres. Les rateliers sont élevés à 0^m,40 ou 0^m,60
au-dessus du sol; ils sont inclinés en sens contraire de ceux des
chevaux, afin que la poussière ne tombe pas sur les animaux, ce
qui nuirait à leur santé et gâterait leur toison. Une petite auge en
voliges, fixée au bas du ratelier, retient les parties de nourriture
qui peuvent s'en échapper, et permet d'incliner le ratelier en avant,
disposition qui rend plus facile aux moutons d'atteindre les der-
nières parties de fourrage qui s'y trouvent.

416. *Porcheries.* Pour une forte truie, il faut compter sur
3^m^c,00 à 3^m^c,50 de surface; pour un verrat, sur 2^m^c,00 à 3^m^c,00;
pour un cochonneau, jusqu'à six mois, sur 1^m^c,00, et au-dessus
de cet âge, sur 1^m^c,35 à 1^m^c,50.

On doit changer souvent la litière d'une porcherie, et faciliter
l'écoulement des eaux en inclinant le sol, que l'on doit faire en
dalles ou en bois, afin que les pores ne puissent pas l'attaquer.

Le porc est le seul animal qui, dans les basses-cours ou dans les
écuries, a conservé assez d'instinct de propreté pour ne déposer
jamais volontairement ses excréments sur la litière où il repose. Le
cheval, le bœuf, le mouton satisfont leurs besoins où ils se trou-

vent; s'ils sont couchés, ils ne se lèvent point pour s'entretenir, et dor-
ment sur leurs ordures: le porc, au contraire, quand il est libre
dans sa loge, choisit toujours la place la plus éloignée; et, si on
essaye de l'attacher, il se recule autant que sa longe le lui permet.

417. *Laiterie et colombier.* La température de la laiterie doit
être de 15° à peu près, en été comme en hiver; la plus grande
propreté doit y régner; elle doit être garnie de tables en pierre.

Le colombier est généralement une tour ronde ou polygonale,
dans laquelle on dispose des nids pour recevoir les pigeons. Comme
le pigeonnier ne descend pas jusqu'au sol, on dispose quelquefois
la laiterie, qu'il faut avoir soin de voûter, au rez-de-chaussée. Il
faut éviter cette disposition, parce que, malgré toutes les pré-
cautions que l'on peut prendre, l'odeur pénétrante du colombier
peut arriver jusque dans la laiterie.

418. *Granges. Volume et composition des récoltes.* Afin que les
voitures chargées des récoltes puissent entrer facilement dans les
granges, on donne aux portes, qui sont à deux vantaux, 3^m,00 à
3^m,50 de largeur, sur 4^m,00 à 4^m,50 de hauteur; il conviendrait
qu'il y eût deux portes, l'une pour l'entrée des voitures chargées,
et l'autre, placées sur le côté opposé de la grange, pour la sortie des
voitures déchargées.

Les granges ont 8, 10, 12 et même 15 mètres de largeur; mais,
comme ces dernières dimensions exigeraient des pièces trop fortes
pour la charpente, on place des poteaux intermédiaires. Ces po-
teaux ont l'avantage de soutenir les tas de gerbes quand on dégarnit
une partie de la grange, sans toucher les autres; cette disposi-
tion permet aussi de faire les granges plus ou moins larges. La
hauteur des granges, sous l'entrait, ne doit pas dépasser 7 à
8 mètres.

Pour une récolte annuelle de 30,000 gerbes de 6^k,00 chacune
ou 180,000 kilog. de divers grains, il faudrait deux aires à
battre, de chacune 12 mètres de longueur, sur 4^m,50 de largeur et
4^m,50 de hauteur.

Volume moyen, pour les bonnes et mauvaises années, de 100 kilog. de différents produits, au moment des récoltes.

	m. cu.
1° De gerbes de froment d'hiver.	0,920
2° id. de seigle d'hiver.	0,960
3° id. de grosse orge.	0,880
4° id. d'avoine.	0,900
5° id. de pois et vesces.	1,280
6° De trèfle rouge porte-graine.	1,080
7° id. blanc.	0,880
8° De foin de trèfle ou de son regain.	0,960
9° id. de prairie ou de son regain.	0,920

Quand, dans une grange, on accumule plusieurs des cinq premiers produits, il faut compter, terme moyen, sur 1^{mc}, par 100 kilogrammes de gerbes, à cause des séparations qu'il faut laisser entre ces différents produits. On doit compter sur le même volume pour les foins de trèfle ou de prairie et pour leurs regains.

Pendant les premiers temps d'engrangement, les récoltes diminuent de poids, par suite d'une dessiccation plus complète, et de volume, par suite du tassement.

Composition moyenne de 100 kilog. de gerbes de différents grains.

DÉSIGNATION.	SOL			
	FERTILE.		MOINS FERTILE.	
	Grain.	Paille.	Grain.	Paille.
Froment.	kil. 30	kil. 70	kil. 40	kil. 60
Seigle.	25	75	36	64
Orge.	35	65	45	55
Avoine.	30	70	42	58
Pois et vesce.	20	80	24	76

419. *Eau nécessaire dans une ferme (Maison rustique au XIX^e siècle).*

DÉSIGNATION DES INDIVIDUS.	CONSUMMATION	
	journalière.	annuelle.
Une personne adulte, pour tous ses besoins.	litres. 10	met. cub. 3,60
Un cheval de taille moyenne, nourri avec des aliments secs, y compris l'eau nécessaire au pansement, et au lavage des écuries et des harnais.	50	18,00
Une bête à cornes nourrie en vert une partie de l'année, y compris l'eau nécessaire au pansement et au nettoyage des étables.	30	11,00
Les moutons, qui pâturent une partie de l'année, et reçoivent souvent des racines en hiver, tout compris.	2	0,73
Les pores, qui consomment en partie en boisson les eaux du ménage domestique, peuvent être abreuvés et nettoyés (par tête) avec.	3	1,08

A l'aide de ce tableau, on déterminera facilement la quantité d'eau nécessaire aux besoins d'une ferme quelconque.

MATÉRIAUX EMPLOYÉS DANS LES CONSTRUCTIONS.

420. Avant de commencer l'étude des matériaux employés dans les constructions, nous croyons convenable de donner la classification géognostique des terrains composant l'écorce minérale du globe; afin d'être guidé dans la recherche des gisements de ces matériaux.

Dans cette classification, on a commencé par les dernières couches déposées, pour les terrains sédimentaires; et par le terrain volcanique, qui se forme encore de nos jours, pour les terrains ignés.

Terrains sédimentaires.

TERRAIN ALLUVIEN.	{ Alluvions modernes.
TERRAIN TERTIAIRE.	{ Alluvions anciennes.
	{ Formation supérieure.
	{ Formation inférieure.
Terrain crétacé.	{ Formation crayeuse.
	{ Formation du grès vert.
Terrain jurassique.	{ Formation oolitique.
	{ Formation du lias.
Terrain keuprique.	{ Formation des marnes irisées.
	{ Formation du muschelkalk.
	{ Formation du grès bigarré.
Terrain pénién.	{ Formation du grès rouge des Vosges.
	{ Formation du zechstein.
Terrain houiller.	{ Formation du nouveau grès rouge.
	{ Formation houillère.
TERRAIN DE TRANSITION.	{ Formation du vieux grès rouge.
	{ Formation supérieure.
	{ Formation inférieure.

TERRAINS SECONDAIRES.

Terrains ignés.

TERRAIN VOLCANIQUE.	{ Laves modernes amphigéniques, labrodoriques.
	{ Feldspathiques et pyroxéniques.
	{ Wacks, basaltes.
	{ Phonolites.
	{ Trachytes.
TERRAIN PORPHYRIQUE.	{ Variolites, ophites, euphotides, serpentines.
	{ Spillites, micaphyres.
	{ Trapps, diorites.
TERRAIN GRANITIQUE.	{ Porphyres feldspathiques et quartzifères.
	{ Granites, protogines, sienites.
	{ Granités.

TERRAIN PRIMITIF.	{ Calcaire.
	{ Schiste talqueux et argileux.
	{ Micaschiste.
	{ Gneiss.
	{ Protogène, sienite, granite.

421. *Pierres naturelles.* Rondelet, dans son traité sur l'art de bâtir, divise les pierres naturelles en quatre classes.

422. *Première classe.* Elle comprend les pierres argileuses, magnésiennes, etc., c'est-à-dire, les asbestes ou amiantes, les micas, les vrais talcs, les pierres ollaires, les schistes ou ardoises de différentes espèces, et les roches appelées *de corne*; elle comprend aussi les basaltes, les pierres de touche, les pierres à rasoir et une foule d'autres qui ne sont pas en usage dans l'art de bâtir. Les caractères distinctifs de ces pierres sont de ne pas faire effervescence avec les acides, de durcir au feu ordinaire, et de ne se réduire ni en chaux ni en plâtre.

423. *Deuxième classe.* Elle comprend les pierres calcaires, ce sont celles dont l'usage est le plus fréquent dans les constructions. Elles se réduisent en chaux par l'action du feu; elles font effervescence avec les acides, dans lesquels elles se dissolvent presque complètement; elles ne donnent point d'étincelle sous le briquet.

Les pierres à bâtir, employées à Paris et dans presque toute la France, sont calcaires.

On en distingue cinq espèces propres à être employées comme pierre de taille, ce sont :

1° *Le liais*, qui réunit toutes les qualités d'une bonne pierre de taille; son grain est fin, sa texture compacte, il se taille bien et résiste à toutes les intempéries de l'air, quand il a été tiré de la carrière par un temps convenable; il est sujet à se geler, quand il est employé avant d'avoir essuyé son eau de carrière.

L'épaisseur du véritable liais n'étant que d'environ 2 décimètres, son usage est borné à des marches d'escalier, des cymaises, des tablettes, des balustrades, des chambranles de cheminée et autres ouvrages qui exigent peu d'épaisseur. On en peut tirer des blocs de 6 à 7 mètres de long, sur 2 à 3 mètres de large. Les belles carrières de liais de la barrière Saint-Jacques et du clos des Chartreux sont épuisées.

On a substitué au liais une pierre de bas appareil nommée cliquant, qui se trouve dans plusieurs carrières des plaines de Bagneux et de Mont-Rouge. Ce nouveau liais porte de 0^m,27 à 0^m,33 d'épaisseur. En général, on donne le nom de liais à toutes les pierres de bas étage, dont on fait usage à Paris.

2° *Le cliquant*. Actuellement, on désigne ainsi une pierre dure, moins fine que le liais, et que l'on emploie peu; on le trouve dans la plaine de Bagneux et du Val de Meudon, sous une épaisseur de 0^m,33 environ; on en tire des plaines de Mont-Rouge et de Vaugirard, qui porte de 0^m,38 à 0^m,60.

3° *La roche*, qui est une pierre dure et coquilleuse; elle se trouve ordinairement en deux bancs superposés, l'un plus abondant en coquilles que l'autre. L'épaisseur des bancs est variable; ainsi, la roche que l'on extrait du fond de Bagneux ne porte que 0^m,41, et on en extrait à Passy qui atteint jusqu'à 0^m,68;

4° *Le banc franc*, qui est beaucoup plus tendre que la roche, et que l'on emploie dans les constructions particulières; il porte ordinairement de 0^m,32 à 0^m,41, mais dans des localités il atteint 0^m,76;

5° *La lambourde*, pierre plus tendre encore que la précédente, porte de 0^m,65 à 1 mètre d'épaisseur de banc; son grain est grossier; celle de Saint-Maur est la moins grossière, la meilleure et celle qui a le plus d'épaisseur de banc. La lambourde s'emploie beaucoup à Paris, pour la construction des maisons; elle résiste bien à la gelée quand elle a perdu son eau de carrière; elle se taille facilement. Les parements des maisons ou édifices construits avec cette pierre durcissent à l'air. A Paris, on emploie aussi le vergelet de Saint-Leu, qui est analogue à la lambourde, mais beaucoup meilleur.

424. *Troisième classe*. Elle comprend les pierres gypseuses, pierres que l'on ne peut employer, même comme moellons, dans les constructions, à cause de leur peu de consistance et de leur décomposition par l'humidité; aussi, est-il défendu de les employer à Paris, surtout pour la construction des bâtiments; on les emploie quelquefois pour les murs de clôture. Exposées à l'action de la chaleur, ces pierres fournissent le plâtre. Elles ne font pas effervescence avec les acides, et ne donnent aucune étincelle par le choc de l'acier.

425. *Quatrième classe*. Elle comprend les pierres scintillantes. Ces pierres, qui donnent des étincelles par le choc du briquet, ne font aucune effervescence avec les acides; elles comprennent les grès, les silex, les pierres meulières, les granits, les porphyres et les basaltes.

Les grès purs, les pierres à briquet et les pierres meulières

résistent au feu le plus violent; les granits, les porphyres et les laves se vitrifient à un grand feu.

Grès. Ce sont des pierres composées de grains de sable quartzeux, de différentes figures, agglutinés ensemble par un ciment calcaire ou argileux. Elles se débitent facilement en gros cubes, qui servent à paver les rues, ou en blocs de toute autre forme pour différentes sortes d'ouvrages; il suffit, pour cela, de les étonner, en les frappant à petits coups dans une direction déterminée, à l'aide de marteaux, dits épingoirs, ou de pics tranchants.

Les grès se trouvent en masses ou roches informes, que l'on nomme rognons; quelquefois cependant on les trouve par bancs ou couches de différentes épaisseurs. On remarque, dans les carrières de grès, que les masses en sont moins dures, à proportion de la profondeur où elles se trouvent, et que le grès se débite d'autant plus facilement sous des formes déterminées, qu'il est plus dur. Cette espèce de pierre n'ayant pas de lits, se débite dans tous les sens de la grandeur que l'on veut.

Pierres à briquet ou silex. On trouve dans plusieurs pays, dans des bancs de craie, des silex en rognons assez gros pour en former des pavés, et que l'on emploie quelquefois pour construire des massifs de maçonnerie.

Meulière. Cette pierre est un composé de concrétions quartzueuses, dont le tissu est criblé de trous. On en distingue de deux espèces, l'une qui se trouve par bancs ou grandes masses, propre à faire des meules de moulins d'une seule pièce, et l'autre en roches ou morceaux isolés, épars dans les campagnes, avec laquelle on forme les meules de plusieurs pièces. Il y en a qui se débite en petits morceaux que l'on emploie comme moellons.

On trouve des carrières de la première espèce, à Montmirail (Marne), à la Ferté-sous-Jouarre (Seine-et-Marne), à Menotey et Moisse (Jura), et à Chatellerault (Vienne). On en trouve de la seconde espèce dans les environs de Paris et dans le département de l'Eure.

Les moellons de meulière donnent la meilleure des maçonneries de remplissage; cela est dû à ce que le mortier s'y attache fortement en s'insinuant dans toutes les cavités, et que la meulière résiste sans aucune altération à toutes les influences atmosphériques.

La meulière employée à Paris vient des environs de Corbeil, où on la trouve à 0^m,60 de profondeur. On l'extrait quelquefois à la surface du sol, au moment où on laboure les champs; mais ordinairement on ouvre des carrières, dont on enlève tous les morceaux propres à former des moellons.

La *caillasse* est aussi une variété de pierre meulière que l'on rencontre en assise à peu près régulière; mais cette pierre, à l'opposé de la véritable meulière, ayant la surface très-lisse, le mortier y adhère très-difficilement; c'est pourquoi, dans les devis de maçonnerie en pierre meulière, on stipule que la caillasse sera rejetée.

Granit. On désigne en général sous le nom de granit, une espèce de pierre dont la grande dureté varie avec les parties qui la constituent, et qui paraît être composée de trois matières principales, le quartz, le pétrosilex et le mica; le granit le plus estimé est celui où ces deux premiers corps dominant, tel est celui d'Égypte, dit *granit oriental*.

Les temples et monuments égyptiens construits de granit ont résisté, depuis plusieurs milliers d'années, à toutes les intempéries de l'air, et aux dévastations des peuples qui ont successivement fait la conquête de l'Égypte.

Quoique Paris soit éloigné des carrières de granit, on y emploie exclusivement cette pierre à la construction des trottoirs et des marches d'escaliers très-fréquentés; il revient à 200 fr. le mètre cube. Dans les localités où le granit est commun, on l'emploie comme pierre à bâtir; en France, plusieurs ponts sont en granit, et en Angleterre, on ne fait usage que de cette pierre pour la construction des grands ponts.

Porphyre. C'est une pierre siliceuse dont la dureté, plus grande encore que celle du granit, ne permet pas de la tailler et par conséquent de l'employer comme pierre de taille, aussi ne l'utilise-t-on que comme moellons. Ses parties constituantes sont plus compactes et mieux liées que pour le granit; les petites taches dont il est marqueté sont de quartz laiteux ou de feldspath; on y remarque aussi des points noirs et brillants. Les anciens en ont fait des colonnes, des vases, des monuments funéraires, des statues.

Il se trouve du porphyre rouge et du vert; le premier est taché de jaune dans la variété dite brocatelle d'Égypte. Le porphyre

vert était appelé ophite ou serpentín, à cause de sa ressemblance avec la peau de certains serpents.

En France, on rencontre le porphyre à Châteaubriand (Loire-Inférieure), dans les montagnes de l'Estérel et du Puget (Var), près de Remiremont (Vosges).

Basalte. C'est un produit volcanique d'un gris noir et quelquefois verdâtre; son tissu est serré, son grain est fin, aussi prend-il un beau poli; il est brillant dans ses fractures; sa dureté le rend difficile à travailler, c'est ce qui fait que, dans les constructions, on ne l'emploie guère qu'à faire des pavés. L'Etna paraît en être composé depuis sa base jusqu'à son sommet; il paraît être très-rare au contraire dans le Vésuve.

Le basalte se trouve souvent par colonnes prismatiques, dont la base est un polygone; on en voit de cette manière à Saint-Tibère, près d'Agde, et au Puy-de-Dôme, près de Clermont, dont les prismes sont réguliers. On en trouve en Italie, du côté de Padoue, qu'on avait pris pour des monuments étrusques.

426. *Distinctions usitées entre les pierres de taille.* Relativement à leur emploi, on divise les pierres en deux classes, les pierres dures et les pierres tendres; les premières ne peuvent se débiter qu'à la scie à eau et au grès, comme le marbre; les secondes se débitent à la scie à dents, comme la lambourde, le banc royal, etc.

Les bonnes qualités des pierres, tant dures que tendres, sont d'avoir le grain fin et homogène, la texture uniforme et compacte, de résister à l'humidité, à la gelée, et de ne pas éclater au feu dans le cas d'incendie.

Peu de pierres réunissent toutes ces qualités. Le premier soin, lorsqu'on a un travail de maçonnerie à exécuter, est d'examiner attentivement toutes les pierres dont on fait usage dans le pays. Pour cela, on visite les carrières, afin de vérifier si leur exploitation est facile; on examine attentivement les édifices construits avec les pierres en provenant, afin de voir comment elles résistent dans les diverses positions où on les a placées.

Si l'on est forcé d'exploiter de nouvelles carrières, il est bon d'en tirer des pierres dans toutes les saisons de l'année, et de vérifier si elles résistent à l'exposition à l'air, à l'eau, à la gelée et même au feu. On peut, jusqu'à un certain point, vérifier si une pierre résiste à

la gelée, à l'aide du procédé de M. Brard, qui consiste à imbiber la pierre de sulfate de soude et à l'exposer à l'air; la cristallisation de ce sel produit un effet analogue à celui de la congélation de l'eau, et fait reconnaître les pierres que la gelée attaque le plus vivement.

Les pierres scintillantes réunissent mieux toutes les qualités d'une bonne pierre que les pierres calcaires; mais comme elles sont en général plus dures, elles sont plus difficiles à travailler. Les pierres calcaires sont moins fortes, et résistent moins aux intempéries de l'air; elles sont sujettes à éclater au feu en cas d'incendie.

On remarque en général que pour des pierres de même espèce, celles dont la couleur est la moins foncée, sont ordinairement les plus tendres.

Les pierres dont la cassure est remplie d'aspérités et de points brillants se travaillent plus difficilement que celles qui ont la cassure lisse et le grain uniforme.

Lorsqu'on mouille une pierre, si elle absorbe l'eau promptement et qu'elle augmente de poids, elle est peu propre à résister à l'humidité.

Les pierres qui rendent un son plein, lorsqu'on les frappe, ont ordinairement le grain fin et la texture uniforme.

Celles qui exhalent une odeur de soufre lorsqu'on les taille, ont beaucoup de consistance.

Enfin, pour des pierres de même espèce, plus elles sont pesantes, plus elles sont dures et fortes.

427. *Briques.* Les briques cuites remontent au temps de Babylone; il est difficile de fixer à quelle époque les Grecs et les Romains ont commencé à en faire usage.

En France, les briques de meilleure qualité sont celles de Bourgogne. Les dimensions des briques varient suivant les localités, mais généralement elles ont 0^m,22 de longueur, 0^m,105 de largeur et 0^m,05 d'épaisseur; dans tous les cas, la longueur doit être égale à deux fois la largeur plus un joint, et, autant que possible, la largeur égale à deux fois l'épaisseur plus un joint. On fait des grandes briques qui ont de 0^m,30 à 0^m,36 de longueur, sur 0^m,20 à 0^m,22 de largeur, et 0^m,04 à 0^m,05 d'épaisseur. On en

fait des petites qui ont de 0^m,16 à 0^m,19 de longueur, sur 0^m,08 à 0^m,095 de largeur, et 0^m,04 à 0^m,05 d'épaisseur.

428. *Cuisson des briques.* Les briques se cuisent, soit à la volée, soit dans des fours. Le premier mode consiste à disposer les briques en tas, sur une aire convenablement dressée; les tas sont formés de briques placées de champ, par assises. A la partie inférieure du tas, on laisse des vides dont la largeur, sur le sol, est égale à cinq fois l'épaisseur d'une brique; mais que l'on diminue d'assise en assise, de manière à pouvoir fermer complètement les vides par la cinquième assise. Outre ces vides, qui règnent sur toute la largeur du tas et qui servent de foyer, il part, de la partie supérieure de chacun d'eux, deux ou trois vides verticaux qui servent de cheminées et qui facilitent la mise en feu. De plus encore, les rangs des deux premières assises, sont formées de briques à peu près en contact par leurs extrémités, mais espacées latéralement, tant vide que plein, de manière à recevoir une certaine quantité de charbon, en morceaux de 3 à 4 centimètres de côté. Les briques du pourtour des cinquième et septième assises ont leur face extérieure faisant un certain angle horizontal sur les faces du tas, et on remplit encore les vides qu'elles laissent entre elles et les briques voisines avec des morceaux de charbon; on peut encore, si on le juge convenable, disposer ainsi le pourtour de quelques autres assises convenablement éloignées, afin que la température soit à peu près la même au pourtour du tas que vers le milieu. On a soin de remplir tous les foyers de bois sec, recouvert de morceaux de charbon nommé gaillette, avant de mettre la cinquième assise. On met le feu après avoir placé la sixième assise. Sur toute la sixième assise, excepté sur le foyer, on place une couche de houille menue, puis une nouvelle assise de briques, une couche de houille, une autre assise de briques, et ainsi de suite.

Afin de ne pas étouffer le feu, on a soin de ne placer les nouvelles assises au-dessus de la sixième, qu'au fur et à mesure que le feu pénètre la masse.

Afin d'empêcher les déperditions de la chaleur, et de rendre celle-ci, autant que possible, uniforme en tous les points de la masse, on enduit le périmètre du tas avec de la terre détrempee mélangée

de paille hachée. On pourrait encore utiliser la chaleur perdue, en couvrant le tas de pierre à chaux.

Un tas peut être formé de vingt-quatre assises de briques et avoir cinq foyers espacés entre eux, à la partie inférieure, de quinze épaisseurs de briques. Par ce mode de cuisson, on ne peut opérer sur moins de 50,000 briques à la fois, et sur plus de 200,000; il faut compter sur 1/10 de briques de déchet.

La quantité de houille brûlée est de 250 kilog. (1/3 de grosse et 2/3 de menue) par millier de briques. Un relevé fait dans le département du Nord, où la houille est bon marché, a donné, pour le prix de revient (tous frais compris), 12 fr. par millier de briques.

Dans les pays où les briques se cuisent au bois, on construit des fours spécialement affectés à la cuisson des briques. Ils sont formés de quatre murs verticaux en briques et enterrés, ou appuyés par des remblais en terre; dans le pied d'un des murs, sont pratiquées de petites voûtes, plus larges que celles des fours à la volée, reposant sur des pieds-droits de 0^m,60 de hauteur. Ces voûtes, qui se prolongent sous toute l'étendue du four, sont à claire-voie, afin de laisser passer la chaleur des feux qui se font sous toutes les voûtes.

On alimente les foyers pendant tout le temps que dure la cuisson, si on ne fait usage que de bois. Les briques se disposent dans ce four, comme pour la cuisson à la volée.

On profite des murs qui entourent le four pour soutenir un toit fort élevé en tuiles; cette disposition a l'avantage de préserver les briques de la pluie et du vent, choses à redouter dans la cuisson à la volée. Tout compris, le prix de revient est plus élevé par ce procédé que par le premier.

Dans les localités où le charbon manque, il convient de faire usage du four à deux compartiments (fig. 15, planche II^e), construit à l'arsenal de Brest, et pour lequel le tableau suivant va nous donner une idée de conduire la cuisson de la brique.

Ce tableau indique le nombre des fagots brûlés pendant chaque heure de chaque quart. Le premier quart comprend les six premières heures de cuisson; le deuxième quart, les six heures suivantes; le troisième, les six autres, et ainsi de suite.

HEURES de chaque quart.	Nombres de fagots brûlés dans le compartiment							
	inférieur.							supé- rieur.
	1 ^{er} quart.	2 ^e quart.	3 ^e quart.	4 ^e quart.	5 ^e quart.	6 ^e quart.	7 ^e quart.	
1	10	23	31	26	31	30	32	16
2	13	24	28	28	28	32	»	18
3	17	26	27	30	30	28	»	17
4	16	28	29	32	27	30	»	20
5	19	27	31	29	29	29	»	»
6	20	29	27	29	27	30	»	»
Pour chaque quart. . .	95	157	173	174	172	179	32	71

On brûle donc 1053 fagots pesant chacun 8^k,9, ce qui fait un poids total de 9371^k,70.

Contenu du four. . .	{	Compartiment inférieur.	6 200 briques.
		Compartiment supérieur.	2 800
		Total.	9 000

Poids du bois brûlé par millier de briques, 1041 kilog.

Pour charger et décharger le compartiment inférieur, on enlève la maçonnerie A qui ferme complètement le cendrier du compartiment supérieur pendant toute la durée de la cuisson; on enlève également la plaque de fonte D qui sépare l'ouverture du foyer de celle du cendrier.

L'ouverture a du cendrier inférieur, comme celle du cendrier supérieur, a 0^m,40 de côté, et un registre la laisse seulement ouverte au 1/3 pendant les 7 premiers quarts, et la ferme presque complètement pendant le 8^e quart.

BB ouvertures de 0^m,40 de côté, facilitant le chargement et le déchargement des compartiments, et que l'on tient fermées par des doubles cloisons en briques pendant la cuisson:

CC voûtes à claire-voie supportant les briques dans chaque compartiment;

DD grilles dont les sections sont le 1/3 de celles des chargements à la base. Les barreaux sont en fer de 0^m,03 de largeur, et ils sont espacés de 0^m,01 entre eux.

On a trouvé, par expérience, que l'on obtenait le maximum d'effet du combustible, quand le vide laissé entre les briques à

cuire était le $\frac{1}{3}$ du vide total. On place les briques de champ, comme dans la cuisson à la volée; le chargement se fait complètement avant de mettre en feu. En disposant les briques, on a soin de ménager des vides plus grands vers les parois du four, que vers le milieu, afin que la chaleur se propage uniformément dans toute la masse. Dans les parties rétrécies, on a soin aussi de laisser des vides plus grands.

Les portes des foyers sont formées d'un cadre en fer, entre les parois duquel on fait une murette en briques. Au milieu de chaque porte, se trouve une petite ouverture qui permet de voir ce qui se passe dans le foyer, sans être obligé d'ouvrir la porte; cette ouverture se ferme par un tampon amovible en terre.

Fig. 16 et 17, pl. II. Coupes en élévation et en plan d'un four employé à Paris, pour cuire des pots à cloison, des briques pour tuyaux de cheminées et des tuyaux entiers.

- CCC petits canaux de communication de l'air avec la cheminée; ayant $0^m,085$ de largeur, sur $0^m,16$ de hauteur, ils sont éloignés de $0^m,12$ environ. La cheminée a $0^m,25$ à $0^m,30$ de largeur à la base, mais elle devient carrée à une certaine hauteur.
- D porte par laquelle on introduit et on retire les objets à cuire; on la ferme pendant la cuisson par une murette en briques;
- E ouverture par laquelle se dégage l'air quand on veut défourner; cette ouverture, qui ouvre dans l'étuve où sèchent les poteries, est fermée pendant la cuisson.

La partie qui couvre le foyer est sphérique, le reste est cylindrique. On brûle du bois, et il paraît que le feu dure de douze à quinze heures par fournée.

429. *Couleurs et qualités des briques.* Quand l'argile employée à la fabrication des briques est ferrugineuse, à la cuisson, les briques deviennent rose-tendre, passent au rouge plus ou moins vif, au rouge pourpre, et enfin au noir, couleur et cassure laitier. Elles augmentent un peu de volume jusqu'au terme de demi-cuisson; au delà, elles éprouvent un retrait qui va toujours croissant jusqu'à leur vitrification si le feu est assez vif.

Quand l'argile ne contient l'oxide de fer qu'en faible quantité, mais qu'elle contient du carbonate de chaux, les briques restent d'un blanc sale pendant toute la cuisson; elles sont encore suscep-

tibles de se vitrifier, la chaux, comme l'oxyde de fer, étant attaquée par la silice à une haute température.

Si l'argile ne contient ni oxyde de fer, ni chaux, elle fournit des briques infusibles, dites *briques réfractaires*, et que l'on emploie pour la construction de toutes les parties de fourneaux susceptibles d'être exposées à une température très-élevée.

430. *Briques crues.* Ces briques ne conviennent guère que dans les pays chauds et secs, où le soleil les durcit beaucoup et la pluie ne les détrempe pas. Cependant, elles sont employées dans quelques localités de la France; à Reims, on en a construit plusieurs maisons dans les faubourgs; elles ont environ $0^m,30$ de longueur, $0^m,14$ de largeur, et $0^m,07$ d'épaisseur. On les fait ordinairement avec la boue qui se forme sur les côtés des routes, et qui est composée d'argile de craie et de silex écrasé. La terre destinée à leur fabrication ne doit contenir ni sable, ni gravier, ni aucun cailloutage. Il convient de les fabriquer en automne, parce qu'alors, elles sèchent plus uniformément et ne se fendent pas comme par les grandes chaleurs; il convient de les laisser sécher pendant deux ans.

On trouve des briques crues dans les ruines de Babylone, ce qui prouve que dans les climats chauds et secs, elles sont aussi durables que le sont les briques cuites et les pierres les plus dures dans les pays froids et humides.

Les Grecs et les Romains ont aussi fait usage de briques crues.

431. A Paris, on fait des *carreaux en plâtre* qui ont $0^m,05$ d'épaisseur, sur $0^m,60$ de longueur et $0^m,40$ de largeur; ils portent une feuillure demi-cylindrique de $0^m,015$ de diamètre sur tout leur contour, afin que le plâtre les relie bien entre eux, et que les cloisons de distribution d'appartements, à la construction desquelles on destine généralement ce genre de carreaux, aient de la solidité. On ne doit les mettre en œuvre que quand il sont parfaitement secs.

432. *Terre employée comme mortier.* On emploie quelquefois l'argile pour relier les moellons et surtout les briques. On en fait un usage exclusif pour la construction des foyers, et en général de toutes les constructions susceptibles d'être exposées à une température élevée; dans ce cas, on y mélange une plus forte quan-

tité de sable, afin que la haute température ne produise pas un retrait trop considérable.

433. *Plâtre, sa cuisson, son emploi.* Le sulfate de chaux fournit le plâtre quand il est exposé à une certaine température.

La cuisson du sulfate de chaux s'opère dans des fours analogues à ceux employés pour cuire la brique au moyen de bois (428), mais à un seul compartiment ; la figure 18, planche II, représente un de ces fours.

TABLEAU du nombre des fagots brûlés pour la cuisson d'une fournée de 8 mètres cubes de plâtre, pendant chaque heure de cuisson.

Heures.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fagots.	13	20	28	27	26	27	28	26	28	30

Total : 253 fagots, dont le poids est $8^k,7 \times 253 = 2,201$ kilog. ; ce qui fait 275 kilog. par mètre cube de plâtre.

Pour cuire le plâtre, on modère le feu en commençant, et on l'augmente graduellement jusqu'à ce que le sulfate ait perdu toute son eau de cristallisation.

Quand le plâtre est convenablement cuit, l'ouvrier qui l'emploie sent, en le maniant, qu'il est doux et qu'il s'attache aux doigts ; c'est à ces indices que l'on peut surtout reconnaître le bon plâtre. Lorsqu'il n'est pas assez cuit, il est aride et ne forme pas un corps assez solide. Quand il est trop cuit, il n'a plus, en le gâchant, ce que les ouvriers de Paris appellent *d'amour*, c'est-à-dire qu'il n'est pas assez gras.

Le plâtre exposé à l'air absorbe l'humidité et perd ses qualités, aussi, doit-on l'utiliser le plus tôt possible après sa cuisson ; si on le tire de loin, il convient, pour les mêmes raisons, de faire venir la pierre, que l'on cuit au moment d'employer le plâtre.

Le plâtre réduit en poudre, soit en le battant, soit au moyen de meules ou de cylindres, n'a pas besoin du concours d'autres matières pour former un corps d'une dureté moyenne ; il suffit d'y mélanger une certaine quantité d'eau. Il jouit de la propriété d'adhérer au bois et aux pierres ; mais il faut éviter de l'employer dans les lieux humides ; au sec, il se conserve parfaitement bien.

Pour gâcher le plâtre, il faut à peu près autant d'eau que de

plâtre ; cependant on varie cette quantité d'eau, suivant l'usage auquel on destine le plâtre ; ainsi, on la prend plus petite, c'est-à-dire qu'on *gâche serré*, quand on a besoin que le plâtre conserve toute sa force ; mais, alors, il faut l'employer sitôt qu'il a été gâché ; on met plus d'eau, c'est-à-dire qu'on *gâche clair*, quand l'emploi du plâtre exige plus de temps ; enfin, on gâche avec plus d'eau encore, c'est-à-dire qu'on forme ce qu'on appelle un *coulis*, quand le plâtre doit être employé pour boucher des trous où la truelle ne peut atteindre.

Une précaution à prendre quand on gâche le plâtre, c'est de mettre d'abord la quantité d'eau nécessaire dans l'auge, et d'y semer ensuite le plâtre jusqu'à ce qu'il atteigne presque la surface ; on attend un peu, jusqu'à ce qu'il commence à prendre, et alors on le remue avec une truelle en cuivre.

Le plâtre étant employé sitôt ou peu après sa cuisson et sa pulvérisation, il se produit une cristallisation confuse qui lui fait reprendre à peu près sa solidité primitive.

434. *Chaux.* Le carbonate de chaux, à une température suffisante, perd son acide carbonique et fournit la chaux.

Si on considère la chaux sous le rapport de la quantité d'eau nécessaire pour la réduire en pâte, on distingue :

- 1° La *chaux grasse*, qui est celle dont le volume augmente de au moins $1/4$ et souvent de deux fois $1/2$ son volume primitif par l'extinction. Cette chaux est la plus profitable aux entrepreneurs, attendu qu'elle se combine avec une très-grande quantité de sable ; on l'emploie pour la confection des mortiers de maçonneries ordinaires ; mais il faut s'en abstenir pour tous les travaux hydrauliques, ou souterrains, attendu qu'elle n'y durcit pas ;
- 2° La *chaux maigre*, qui est celle dont le volume reste à peu près constant à l'extinction : il y a de la chaux maigre qui est hydraulique, et de l'autre qui ne l'est pas ; elle fournit moins de mortier que la précédente ; elle durcit assez vite à l'air ; à défaut d'autres, on l'emploie aux mêmes usages que la précédente, quand elle ne jouit pas de la propriété hydraulique.

Si on considère la chaux sous le rapport de la dureté que sa pâte peut acquérir, lorsqu'elle est immergée sous l'eau, on distingue :

- 1° La *chaux non hydraulique*, qui est celle qui ne durcit pas dans l'eau ; elle comprend les deux variétés précédentes ;

- 2° La *chaux hydraulique*, qui est celle qui durcit dans l'eau ; cette chaux est plus ou moins maigre, c'est-à-dire qu'elle foisonne peu à l'extinction ;
 3° Il y a encore la chaux, dite *chaux-ciment* ou *ciment romain* ; c'est celle qui n'est pas susceptible de fuser.

L'analyse a fait reconnaître, comme le confirme le tableau suivant :

- 1° Que le carbonate qui fournissait la chaux grasse contenait moins de 1/10 de matières étrangères ;
 2° Qu'au-dessus de 1/10, il fournissait une chaux qui était d'autant plus maigre, que cette proportion de matières étrangères était plus grande ;
 3° Que la propriété hydraulique était due à la formation, au feu, d'un silicate de chaux ; c'est-à-dire que la silice jouait un rôle essentiel dans cette combinaison, mais que la combinaison n'avait lieu qu'autant que la silice se trouvait en gelée ou réduite à un état de ténuité extrême dans son mélange avec le carbonate de chaux.

TABLEAU de la composition de quelques pierres à chaux, d'après les analyses de M. Berthier.

Chaux grasse de Château-Landon.	{	96,40	Chaux pure.
		1,80	Magnésie.
		1,80	Argile (silice et alumine).
Chaux maigre non hydraulique de Coulommier.	{	78,00	Chaux pure.
		20,00	Magnésie.
		2,00	Argile (Silice et alumine).
Chaux moyennem. hydraulique de Saint-Germain.	{	89,00	Chaux pure.
		1,00	Magnésie.
		10,00	Argile (silice et alumine).
Chaux très-hydraulique de Senonches.	{	70,00	Chaux pure.
		1,00	Magnésie.
		29,00	Silice.

A ce Tableau on peut ajouter :

Chaux maigre non hydraulique de Brest.	{	82,30	Chaux pure.
		10,00	Oxide de fer.
		7,70	Argile.

Ces analyses font voir que la magnésie et l'oxide fer rendent la chaux maigre non hydraulique, et que la silice pure ou mélangée d'alumine la rend hydraulique.

M. Berthier, en opérant par synthèse, a obtenu, pour la même composition, des chaux jouissant des mêmes propriétés que celles du tableau, et il a reconnu de plus :

- 1° Que la silice en gelée, calcinée avec de la chaux pure, donnait un produit hydraulique ;
 2° Que l'alumine, la magnésie, l'oxide de fer et l'oxide de manganèse, calcinés un à un avec de la chaux pure, donnaient une chaux maigre ;
 3° Que l'alumine et la magnésie, mêlées avec la silice, exaltaient la propriété hydraulique ; mais que les proportions les plus convenables pour ce mélange, étaient une partie de silice pour une partie d'alumine ou une partie de magnésie.

Avant ces analyses, M. Vicat avait trouvé que si on faisait cuire, dans un four à chaux, un mélange d'argile et de chaux éteinte ou de carbonate de chaux réduit en pâte, on obtenait de la chaux hydraulique, quand la proportion d'argile était de au moins 10 pour 90 de chaux, et que la chaux était d'autant plus hydraulique, que la proportion d'argile était plus considérable ; mais que si la proportion d'argile dépassait 34 pour 66 de chaux, le composé ne fusait plus.

Depuis que cette théorie a été clairement établie, on a fait, par la synthèse, des essais sur tous les composés qu'il était possible d'obtenir en faisant varier les proportions de chaux et d'argile ; ces essais ont conduit à ranger les chaux sous les dénominations suivantes :

	Argile.	Chaux.
<i>Chaux hydrauliques</i> , celles qui contiennent.	{ 0,10	0,90
	{ 0,20	0,80
	{ 0,30	0,70
Limite. . . . .	| 0,34	0,66
<i>Chaux-ciments</i> , celles qui contiennent.	{ 0,40	0,60
	{ 0,50	0,50
	{ 0,60	0,40
Limite. . . . .	| 0,61	0,39
<i>Ciments hydrauliques ou pouzzolanes</i> , celles qui contiennent.	{ 0,70	0,30
	{ 0,80	0,20
	{ 0,90	0,10
<i>Ciments ordinaires</i> , celles qui contiennent plus de 0,90 d'argile.		

Les différentes espèces de chaux que nous venons d'énumérer, se distinguent par les propriétés suivantes :

- 1° La *chaux grasse*, mise en contact avec l'eau, produit le même bruit qu'un fer rouge que l'on tremperait dans cette eau ; elle dégage de la chaleur, au point de mettre l'eau en ébullition, et de dégager des vapeurs légèrement caustiques ; elle augmente beaucoup de volume, foisonne et se réduit en une pâte blanche, laquelle, immergée dans une masse d'eau suffisante, s'y dissout complètement. La chaux pure se dissout dans cinq à six cents fois son poids d'eau ;

- 2° La *chaux maigre* non hydraulique fuse à l'extinction, mais plus lentement et avec un moindre dégagement de chaleur que la chaux grasse; elle augmente moins de volume et sa pâte ne durcit pas non plus sous l'eau;
- 3° La *chaux hydraulique* se comporte à peu près comme la précédente à l'extinction; mais sa pâte, mise sous l'eau, fait corps dans un temps plus ou moins long;
- 4° La *chaux-ciment* ne fuse pas, mais, réduite en poudre, puis en pâte, elle prend corps très-rapidement;
- 5° Le *ciment hydraulique* ou *pouzzolane* est trop maigre pour fuser et former pâte, mais, réduit en poudre et mélangé avec de la chaux grasse, il donne une matière qui jouit de la propriété de durcir promptement sous l'eau;
- 6° Le *ciment ordinaire* est inerte quand l'argile qui entre dans sa composition ne contient pas de chaux, et il acquiert des qualités légèrement hydrauliques, à mesure que la proportion de chaux augmente.

Les chaux maigres non hydrauliques, c'est-à-dire les chaux ou carbonates de chaux dans lesquels il entre une quantité notable d'oxide de fer ou de manganèse, ne sont pas propres à cette transformation en chaux hydrauliques, par le concours seul de l'argile et du feu; on est obligé, pour leur donner cette qualité, d'employer, non pas de l'argile, mais de la pouzzolane ou ciment hydraulique obtenu par la calcination de l'argile calcaire.

Manière dont se comportent les différentes sortes de chaux, lorsque, réduites en pâte, elles sont immergées sous l'eau, seules, ou mélangées de sable.

- 1° La *chaux grasse*, dans un volume d'eau indéfini, se combine rapidement avec un poids d'eau à peu près égal aux 0,22 du sien; retirée et exposée à l'air, elle fuse avec dégagement de chaleur, en se réduisant en poudre impalpable. La matière obtenue, appelée *hydrate de chaux*, peut encore absorber une grande quantité d'eau, mais sans qu'il y ait ni combinaison, ni dégagement de chaleur. Cet excès d'eau, qui donne naissance à une pâte plus ou moins ferme, peut se dégager en assez grande quantité par le rebattage, pour qu'il soit inutile d'en ajouter de nouvelle pour la fabrication du mortier.

Les mortiers de cette chaux restent mous, comme le fait la chaux seule, quand on les prive du contact de l'air, ou plutôt de l'acide carbonique; la solidification de la chaux étant due à l'absorption de cet acide, on en conclut que la chaux est sans effet sur le sable quartzéux.

La chaux continue d'absorber l'acide carbonique, jusqu'à ce que l'acide soit à la base dans le rapport approché de 43 à 57, comme dans les sous-carbonates de chaux naturels; et de plus, comme l'eau de l'hydrate n'a pas été rejetée par cette solidification, on voit que l'on obtient un hydro-carbonate de chaux.

D'après M. Vicat, 100 parties de chaux grasse absorbent, en se solidifiant, 74 parties d'acide carbonique, et en retiennent 17 d'eau.

- 2° La *chaux hydraulique*, éteinte à la manière ordinaire, solidifie, comme la chaux grasse, une certaine quantité d'eau, et forme, avec une addition d'eau,

une pâte plus ou moins ferme, laquelle, exposée à l'air, se solidifie en absorbant une moindre quantité d'acide carbonique que la chaux grasse, et en retenant également une certaine partie d'eau. D'après M. Vicat, 100 parties d'une chaux hydraulique, contenant 1/5 de son poids d'argile, absorbent, en se solidifiant, 54 parties d'acide carbonique et retiennent 15 parties d'eau; ainsi, ce produit, composé de 100 parties de chaux, 25 d'argile, 67,5 d'acide carbonique et 18,7 d'eau, est encore un hydro-carbonate de chaux, dans lequel l'argile paraît être en dehors de la combinaison.

Quoique 65 parties de silice combinées avec la chaux, par la calcination, ne rendent réellement insolubles dans l'eau que 35 parties de chaux, cependant, pour qu'une chaux soit hydraulique, c'est-à-dire pour qu'étant réduite en pâte, elle se solidifie sous l'eau, et par conséquent sans le concours de l'acide carbonique, il suffit qu'elle soit combinée, par la calcination, à 6 ou 7 centièmes de silice: une attraction moléculaire du silicate de chaux formé, sur la chaux libre, peut seule expliquer comment cette dernière devient insoluble (pages 508 et 509).

La combinaison de la silice avec la chaux est la seule inattaquable par l'eau; l'alumine et quelques autres oxides ne font qu'exalter les propriétés hydrauliques, sans pouvoir, seuls, communiquer ces propriétés à la chaux.

Les chaux hydrauliques contenant la limite d'argile, c'est-à-dire, 34 d'argile pour 64 de chaux, donnent des mortiers qui durcissent rapidement; mais il faut que toutes les molécules de chaux soient attaquées par l'eau au moment de l'extinction; car s'il en reste de libres, elles fument seulement dans la masse, et en désagrègent toutes les parties, qui ne peuvent plus ensuite prendre aucune consistance. Il conviendrait, pour éviter cet inconvénient, qui s'est déjà présenté, de pulvériser ces chaux limites, comme on le fait pour les chaux ciments; par là, toutes les molécules de chaux seraient mises à peu près dans les mêmes circonstances pour leur extinction, et l'inconvénient signalé ne serait pas à redouter.

- 3° *Chaux-ciments*. Par la carbonisation des carbonates de chaux dans lesquels les proportions d'argile varient de 34 à 61, pour 56 à 39 de chaux, il se forme un silicate de chaux plus ou moins abondant, et la chaux qui peut rester libre ne peut plus fuser, de sorte que l'eau est sans action sur toute la masse de cette chaux quand elle sort du four; mais, réduite en poudre et mouillée d'une quantité d'eau suffisante pour en faire une pâte plus ou moins consistante, il se produit une cristallisation confuse, et la pâte prend corps sous l'eau et d'autant plus rapidement que le silicate est plus abondant, si toutefois il n'est pas en quantité suffisante pour nuire à l'action réciproque des molécules les unes sur les autres.

La prise est d'autant plus rapide, que la chaux n'a pas été exposée à l'air depuis sa sortie du four, et, à ce moment, si on la broie et si on l'utilise immédiatement, la prise est quelquefois si rapide, qu'on n'a pas le temps de l'employer.

- 4° Les *ciments hydrauliques* ou *pouzzolanes* étant composés de 61 à 90 d'argile pour 39 à 10 de chaux, renferment, après la cuisson, du silicate de chaux, sans qu'il y ait assez de chaux libre pour que le résidu de la calcination, réduit en poudre, fasse pâte; l'eau ne produit aucun effet sur cette poudre, que l'on ne peut utiliser qu'en y mélangeant une certaine proportion de chaux grasse. Le silicate se trouve, suivant les proportions de chaux qu'il

contient, dans les mêmes conditions que dans une chaux plus ou moins hydraulique, ou que dans la chaux-ciment.

5° *Ciments de briques ou de tuiles.* Ces matériaux, contenant généralement moins de 1/10 de chaux, sont encore en dehors des pouzzolanes, mais cependant celle qu'ils peuvent contenir est combinée avec la silice, et on remarque, quand l'argile n'a pas été trop cuite, que de la chaux grasse, combinée avec ces matières pulvérisées, donne un mortier qui a un léger degré d'hydraulicité.

Comme la pulvérisation de la brique ou de la tuile est coûteuse, il vaut mieux, au lieu de faire usage de ces matières, fabriquer des pouzzolanes énergiques, dont une légère quantité, mélangée au mortier ordinaire de chaux grasse, suffit pour faire un très-bon mortier hydraulique; ce n'est qu'à défaut de toute autre matière, qu'on doit avoir recours à l'emploi du ciment de briques ou de tuiles.

D'après M. Vicat, de l'argile, après une première cuite, donnant à la combinaison avec la chaux une énergie représentée par 1, bis-cuite, cette énergie est représentée par 0^m,30, et demi-vitrifiée par 0^m,19; l'on voit donc que c'est une erreur de croire que la brique la plus cuite est la plus convenable pour la fabrication des mortiers.

435. *Moyens de se procurer de la chaux hydraulique.* La chaux hydraulique est fournie par la simple cuisson du calcaire naturel qui contient tous les éléments de cette chaux (434); mais, dans les localités où ce calcaire ne se trouve pas, on fabriquera la chaux hydraulique, en faisant un mélange intime de tous les éléments qui doivent entrer dans sa composition. On conçoit que l'on ne doit avoir recours à ce second mode de fabrication, qu'à défaut de carbonate hydraulique naturel.

Lorsqu'on aura besoin de se procurer de la chaux hydraulique dans une localité, on se guidera dans ses recherches, en se rappelant que c'est le mélange de l'argile au carbonate calcaire qui fournit toutes les variétés de chaux hydrauliques, et que par conséquent, les carrières où alternent les bancs d'argile et de pierre calcaire sont celles où il y aura le plus de chances de succès, quand toutefois ces bancs feront partie d'une même formation. Il ne faut pas négliger ces recherches, parce que dans la localité on n'a encore fabriqué que de la mauvaise chaux; cela peut provenir de l'absence ou de la mauvaise direction de recherches antérieures; ainsi, à Paris, on a fait venir pendant longtemps de la chaux hydraulique de Senonches, qui coûte 80 fr. le mètre cube, tandis que les buttes Montmartre, Chaumont et Romainville contiennent des calcaires

fournissant en abondance toutes les variétés de chaux hydrauliques.

Comme on ne rencontre aucun calcaire argileux dans les divisions supérieures du *terrain crétacé supérieur* (420), il est inutile d'y faire des recherches; mais les divisions inférieures sont plus favorables, on y rencontre une craie marneuse qui repose sur l'argile du gault auquel elle est souvent liée par une transition insensible. On y trouve une proportion d'argile d'autant plus grande que l'on s'approche davantage du gault; ainsi, de sept à huit pour cent, que contiennent les bancs supérieurs, on arrive quelquefois à quarante ou quarante-cinq pour cent. Les chaux hydrauliques provenant de cette formation ont quelquefois l'inconvénient d'éprouver un retrait sensible quand, après avoir été placées sous l'eau, elles se trouvent exposées à l'air; pour éviter cet effet, dangereux dans les constructions, on fait le mortier très-ferme et en bon sable siliceux.

Les calcaires que l'on rencontre dans le *terrain crétacé supérieur* donnent de bonnes chaux hydrauliques, mais ils ne s'y trouvent en général qu'en couches très-minces ou en rognons.

Dans certaines localités, le *terrain suprajurassique* fournit des calcaires contenant de l'argile et du carbonate de magnésie. Lorsque l'argile est en proportion convenable (de 8 à 10 pour 100), ce calcaire donne une bonne chaux hydraulique. La présence de l'argile se reconnaît par une couleur jaune foncé ou brun, une forte odeur terreuse et un toucher onctueux.

L'*étage jurassique supérieur*, qui comprend toutes les formations à grandes alternances de calcaires et de marnes, se divise en plusieurs groupes intéressants à étudier sous le rapport de leurs produits en chaux hydrauliques.

Les *calcaires portlandiens* supérieurs contiennent des dolomies vertes qui donnent de la chaux hydraulique; mais ceux inférieurs n'en renferment pas.

Les *calcaires kimmériens* supérieurs et les marnes calcaires de ce groupe jouissent de propriétés hydrauliques variables, mais faibles en général; dans l'étage moyen et dans l'étage inférieur, ces qualités sont plus prononcées, et les chaux hydrauliques qu'on en tire seraient excellentes, si, par l'effet des fossiles qui y abondent quelquefois, elles n'avaient pas l'inconvénient de se diviser en strates.

L'*Oxford-clay* est abondant en calcaire argileux fournissant de la bonne chaux hydraulique.

La *grande oolite* ou *oolite inférieure* fournit des calcaires argileux et magnésiens.

Le *lias*, surtout, fournit des assises marno-calcaires à chaux hydrauliques et à ciments.

Dans le terrain *keuprique*, les *marnes irisées* fournissent des calcaires magnésiens.

Le *muschelkalk*, plus riche en pierre de taille très-dure qu'en chaux hydraulique, fournit cependant quelquefois des calcaires marneux et des calcaires argilo-magnésiens donnant de la chaux hydraulique.

Les formations du *grès bigarré* et du *zechstein* sont dans le même cas que le *muschelkalk*.

En remontant encore l'échelle géognostique, arrivé au *terrain de transition*, on ne trouve plus que du calcaire pur.

Les indications précédentes peuvent guider dans la recherche des pierres à chaux hydraulique; mais, comme souvent au-dessus et au-dessous d'un banc de calcaire argileux se trouve du calcaire pur, on est obligé, pour s'assurer des propriétés de la chaux, d'avoir recours à quelques essais.

Si, en traitant le calcaire par l'acide chlorhydrique, toute la masse se dissout, on est sûr qu'il ne peut fournir qu'une chaux grasse; si, au contraire, il reste un produit insoluble, on doit s'attendre à obtenir une chaux maigre; mais pour savoir si elle est hydraulique ou non, il faut faire cuire un échantillon de cette pierre; excepté quand le résidu insoluble est un sable grossier, car, alors, on est sûr que la chaux ne vaudra rien. Cependant, comme les chaux maigres non hydrauliques sont rares, en comparaison des chaux hydrauliques, il y a espoir de succès, dès qu'on obtient un résidu insoluble.

436. *Chaux hydrauliques artificielles.* Lorsque les recherches et les essais indiqués au numéro précédent n'auraient conduit à aucun résultat satisfaisant, on aura recours à la chaux hydraulique artificielle, que l'on fabriquera de toutes pièces, par un des deux procédés que nous allons examiner.

Le premier procédé consiste à mélanger, à du carbonate calcaire réduit en bouillie, de l'argile dans les proportions qui donnent à la chaux le degré d'hydraulicité dont on a besoin (434); ce mélange,

réduit en pains et ensuite soumis à la cuisson, fournit de bons produits.

On voit que ce procédé exige que la pierre calcaire soit d'abord écrasée; comme le calcaire marneux et la craie sont seuls susceptibles d'être soumis économiquement à cette opération, en leur absence, on aura recours au second procédé, qui consiste à mélanger une proportion convenable d'argile à de la chaux grasse éteinte et mise à l'état de pâte, et à soumettre ce mélange, réduit préalablement en pains, à une seconde calcination.

Le calcaire marneux est un calcaire ordinairement friable, facile à écraser et à réduire en bouillie. Comme il contient toujours une certaine quantité d'argile, quelquefois assez grande pour produire de la chaux hydraulique ou de la chaux-ciment, on est obligé, pour déterminer la dose d'argile à y ajouter, de le soumettre préalablement à des essais chimiques ou à des essais de cuisson.

Une fois que les proportions des matières qui doivent entrer dans la chaux sont déterminées, on en opère le mélange au moyen d'un manège semblable à celui que l'on emploie à la fabrication des mortiers, dans les grands chantiers de construction, et dont nous allons donner les dimensions principales. Ce manège porte trois roues de 1^m,80 de diamètre, analogues à des roues de voitures, et dont la largeur de jante est de 0^m,15 pour l'une et 0^m,10 pour chacune des deux autres. Ces roues tournent dans une auge circulaire dont la section transversale est un segment circulaire; la roue de 0^m,15 de jante suit le milieu de l'auge, et les deux autres suivent des ornières intérieure et extérieure empiétant de 0^m,02 à 0^m,03 sur celle de la première. L'auge, qui a 1^m,15 de diamètre intérieur, 1 mètre de largeur et 0^m,38 de profondeur, est dallée en granit, ou mieux en plaques de fonte pour avoir moins de joints. Les roues peuvent s'élever ou s'abaisser dans l'auge, à l'aide de deux oreilles traversées par un goujon horizontal et fixées sur les deux faces latérales des essieux. Tout le système tourne autour d'un goujon vertical fixé à la partie supérieure d'un arbre en bois maintenu solidement en terre. Un rabot en fer, qui a la forme de la section transversale de l'auge, détache dans son mouvement la matière qui peut se fixer aux parois de l'auge, ce rabot est disposé de manière à pouvoir s'élever ou s'abaisser

librement, selon que la quantité de matière qui se trouve dans l'auge est plus ou moins considérable.

Un tel manège est mû par deux chevaux qui suivent un cercle de $4^m,45$ de rayon ; mais l'on conçoit que, suivant l'importance de l'exploitation, on peut ne mettre que deux roues au manège, en diminuant la largeur de l'auge en conséquence, et opérer la manœuvre avec un seul cheval. La roue la plus large est montée sur un des bras du manège, et les deux autres, sur un essieu perpendiculaire aux bras.

Quand le calcaire est écrasé et réduit en bouillie, et que la chaux est délayée bien également dans l'auget, on y verse, aussi uniformément que l'on peut, la quantité d'argile convenable, et on continue la trituration jusqu'à ce qu'on n'aperçoive plus de parcelles d'argile ; alors, on ouvre une vanne pratiquée dans la paroi extérieure de l'auget, et la boue liquide s'écoule dans une fosse pratiquée à proximité, dans un terrain perméable. Quelques tours de manège, après l'ouverture de la vanne, suffisent pour que le rabot fasse écouler toute la matière par la vanne.

De la première fosse, qui doit avoir de $0^m,60$ à $0^m,80$ de profondeur, on fait couler la matière dans une autre, où on lui laisse acquérir une consistance qui permette de la mettre en pains, soit à la main, soit à l'aide d'un moule. On laisse les pains se dessécher à l'air, à la manière des briques, si ce n'est que leur peu de consistance ne permettant pas de les empiler les uns sur les autres en laissant du jeu entre eux, on est obligé de placer chaque étage de pains sur des lattes reposant sur des entretoises horizontales fixées à des montants qui supportent une toiture.

Les pains, une fois desséchés à l'air, se cuisent de la même manière que la chaux naturelle, si ce n'est, qu'étant moins compactes, ils sont plus facilement pénétrés par la chaleur et exigent un feu moins vif.

437. *Cuisson de la chaux.* Elle s'opère dans des fours à feu continu, à l'aide de la houille, ou dans des fours à feu discontinu, avec de la houille, de la tourbe ou du bois.

La fig. 19, planche 11, représente la coupe par l'axe d'un four à feu continu. Il a la forme d'un tronc de cône renversé, dont le petit diamètre a au moins 1 mètre, et quelquefois $3^m,30$ comme à

Tournay ; le grand diamètre varie de 2 mètres à 6 mètres, et la hauteur, de 3 mètres à $10^m,80$.

Pour charger ce four, on commence par former dans le bas du tronc de cône une voûte en pierre calcaire, laquelle est soutenue par deux barres de fer qui forment une espèce de grille ; sur cette voûte, on place une couche de houille, et dans le foyer qui est réservé sous la voûte, on allume un feu de bois ; ce feu allume la première couche de houille, que l'on couvre d'une couche de calcaire, puis d'une couche de houille et ainsi de suite, jusqu'à la partie supérieure du four ; mais en ayant soin de ne placer les nouvelles couches, qu'au fur et à mesure que le feu s'élève, comme pour la cuisson des briques à la volée (428).

Quand la pierre du bas est cuite, on la fait couler avec un rindard, et on la retire en réglant la vitesse de l'enlèvement, sur le temps reconnu nécessaire pour la calcination de la chaux ; ce temps est généralement de deux à trois jours. On a soin de mettre de nouvelles couches de calcaire et de houille dans le four, à mesure que la masse s'affaisse.

La quantité de houille brûlée varie de 1,50 à 2 ou 2,25 hectolitres par mètre cube de calcaire. Pour que la calcination soit égale et facile, on casse le calcaire en morceaux de 7 à 8 centimètres de côté. Pour la chaux artificielle, les pains peuvent avoir de plus grandes dimensions (436).

La figure 20, planche 11, représente la coupe verticale par l'axe d'un four à cuisson continue, employé à Tournay. Ce four a 6 mètres de diamètre à la partie supérieure et $3^m,30$ à la partie inférieure. Le grand diamètre du tronc de cône, à base supérieure arrondie, placé au bas du four, pour chasser la chaux cuite vers les huit orifices qui servent à la retirer, a $2^m,10$. La hauteur totale du four, depuis la base du tronc de cône, est de $10^m,80$.

Un tel four contient 130 mètres cubes de calcaire, dont les morceaux sont de grosseurs très-variables, il y en a qui pèsent jusqu'à 25 kilogrammes. La chaux reste trois jours dans le four ; on brûle de 1,25 à 1,75 hectolitres de charbon de Fresnes, qui est impropre à la fabrication du coke, pour cuire un mètre cube de chaux.

Les voûtes V, V' forment un carré régissant tout autour du four. Le massif du four forme, en plan, un carré à l'intérieur des voûtes,

c'est à-dire en C,D, ainsi qu'à l'extérieur, en A,B. On pénètre sous les voûtes par trois ouvertures, dont deux sont placées sur une même face des faces.

On paye 0,36 au chafournier pour charger le four, surveiller la cuisson, retirer la chaux du four et la charger en bateau à un relais de distance.

Les tablettes qui forment le sol des orifices par lesquels on retire la chaux, font des saillies sous lesquelles on fait avancer les brouettes pour y faire tomber directement la chaux ; ces brouettes cubent un hectolitre.

Si la charge du four ne descend pas partout également, on place des gros blocs de calcaire mélangés de charbon sur la partie qui ne s'affaisse pas ; ces blocs, ne se cuisant pas complètement, augmentent la charge dans cette partie, et détachent les morceaux qui se sont accrochés à la paroi. On rend aussi le feu partout uniforme, en laissant de plus grands vides entre les pierres que l'on place dans les parties où il est le moins intense.

La chaux cuite dans ces fours se vend de 7 à 9 fr. le mètre cube, quoique l'extraction de la pierre se fasse à la poudre, dans des carrières placées au-dessous de la nappe d'eau, ce qui nécessite des épaissements à l'aide de machines à vapeur.

La pierre renferme 10 pour 100 d'argile ; c'est un calcaire fétide de la formation oolitique (420).

Les fours à cuisson continue exigent que l'on surveille la marche du feu ; si le vent vient frapper dans la direction de l'orifice du four, il faut masquer cet orifice par des toiles ou des paillassons ; car autrement le feu deviendrait trop vif, et la chaux se fritterait.

Dans les localités où la houille manque, on est obligé de cuire la chaux avec du bois dans des fours à feu discontinu.

Pour obtenir une bonne cuisson, avec le moins de combustible possible, M. Petot, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a construit, à l'arsenal de Brest, le four à deux compartiments, représenté en coupe verticale, figure 22, planche 11, (*Annales Maritimes*, année 1833). C'est par une série d'essais que M. Petot est arrivé à cette forme et aux dimensions suivantes, reconnues les plus favorables :

Compartiment inférieur.

Diamètre de la grille.	1 ^m ,95
Hauteur de la grille au-dessus du sol.	0 ^m ,50
Diamètre inférieur du compartiment.	2 ^m ,55
AA diamètre maximum.	3 ^m ,55
Distance de AA à la grille.	1 ^m ,30
BB sommet de la charge cuite, diamètre.	2 ^m ,24
Distance de BB à AA.	3 ^m ,00
Diamètre à la partie supérieure.	1 ^m ,70
Distance de BB à l'ouverture du foyer supérieur.	0 ^m ,50
Entrée du foyer, 0 ^m ,40 sur.	0 ^m ,40
Entrée du cendrier, 0 ^m ,50 sur.	0 ^m ,50

Compartiment supérieur.

Diamètre inférieur de ce compartiment.	2 ^m ,30
Diamètre maximum CC.	2 ^m ,46
Distance de CC au seuil de l'ouverture du foyer.	1 ^m ,30
DD sommet de la charge cuite, diamètre.	1 ^m ,55
Distance de DD à CC.	2 ^m ,50
Distance de DD à l'orifice supérieur.	0 ^m ,50
Diamètre à l'orifice.	1 ^m ,00
Épaisseur de la maçonnerie en EE.	2 ^m ,00
Id. id. en FF.	1 ^m ,60
Volume de la chaux cuite dans le compartiment supérieur.	10 ^m ³ ,50
Id. id. dans le compartiment inférieur.	26 ^m ³ ,50
Largeur des barreaux de grille.	0 ^m ,03
Distance d'axe en axe des barreaux de grille.	0 ^m ,04

Pour charger le four, on fait, avec des morceaux de calcaire de 0^m,16 à 0^m,20 d'épaisseur, une voûte en ogive, représentée dans la figure par une ligne pointée, au-dessus de chaque foyer ; sur cette voûte, on entasse le calcaire, de manière que les morceaux diminuent en grosseur, depuis le bas jusqu'en haut, ainsi que du centre au pourtour du four ; on prend cette précaution, afin de rendre, autant que possible, la cuisson uniforme. Des rondins, convenablement placés dans la charge, laissent, en se brûlant, des cheminées qui distribuent uniformément la chaleur, en la dirigeant vers les parois ; il faut éviter d'en placer au-dessus de l'opposite de l'entrée du foyer, où le courant d'air qui arrive porte naturellement la flamme.

Le four étant rempli, on ferme, avec de la maçonnerie, le vide du cendrier supérieur, en y laissant seulement un petit regard, que

l'on ouvre à volonté, pour examiner les progrès du chauffage à l'entrée du compartiment supérieur.

Les fagots et le bois refendu conviennent pour ce chauffage, parce que leur flamme longue monte à travers la charge, et que, faisant peu de brasier, il y a moins de chance que la partie inférieure du calcaire dépasse le point convenable de cuisson. On est quelquefois obligé, au commencement du chauffage, d'allumer quelques fagots dans le foyer supérieur pour faciliter le tirage.

Jusqu'à ce que toute la masse soit échauffée, l'eau qui se dégage pendant la combustion ainsi que le carbone entraîné se déposent sur les pierres froides, qui deviennent noires; vers cette époque du chauffage, il arrive, si le feu est trop ardent, que les pierres éclatent avec bruit; quand on entend ces explosions, il convient de ralentir le feu jusqu'à ce que les pierres aient perdu leur eau de carrière.

On charge, chaque fois, quatre fagots de 1 mètre de longueur et pesant chacun de 7^k,50 à 10 kilog.; on réduit quelquefois ce nombre à trois et d'autres fois on le porte à cinq. On dispose les fagots autour de la grille, en en laissant un dans l'entrée du foyer, de manière à ce que, brûlant par l'extrémité, il fournisse la flamme à la partie antérieure du four, et brûle les filets d'air qui pénètrent par le contour de la porte et le guichet de 0^m,08 à 0^m,10 de côté, placé dans le milieu de la maçonnerie de cette porte. Ce guichet sert à voir ce qui se passe dans le foyer, on le ferme à l'aide d'un tampon de terre à brique. Chaque chargement s'effectue quand il n'y a plus que du brasier sur la grille, et que le courant de flamme amaigri permet de voir les pierres de la voûte; si on attendait trop, l'air froid, dont l'arrivée est constante, refroidirait les pierres.

Au bout des dix premières heures de feu, la dépense en combustible reste à peu près constante.

TABLEAU indiquant la marche de la cuisson, il est analogue à celui donné pour la brique (428).

HEURES de chaque quart.	Nombres de fagots brûlés dans le														
	compartiment inférieur pendant le												compartim. supér. pendant le		
	1 ^{er} quart	2 ^e quart	3 ^e quart	4 ^e quart	5 ^e quart	6 ^e quart	7 ^e quart	8 ^e quart	9 ^e quart	10 ^e quart	11 ^e quart	12 ^e quart	1 ^{er} quart	2 ^e quart	3 ^e quart
1	5	35	38	49	43	42	40	41	38	42	39	38	19	35	28
2	15	33	40	50	40	40	40	43	40	41	40	38	24	32	33
3	19	36	37	48	40	38	40	41	43	39	42	24	28	36	36
4	25	34	39	50	45	42	40	39	41	42	40	»	31	33	34
5	28	37	48	40	41	40	42	40	39	43	41	»	33	29	34
6	31	35	51	41	44	40	40	42	40	41	44	»	31	31	»
pour chaque quart.	123	210	253	278	253	242	242	246	241	248	246	100	166	196	165

Pendant soixante-huit heures et demie de feu dans le compartiment inférieur, on a brûlé 2,682 fagots, et pendant dix-sept heures de feu dans le compartiment supérieur, on en a brûlé 527, ce qui fait un total de 3,209 fagots pour quatre-vingt-cinq heures et demie de feu. Chaque fagot pesant 9^k,25, on a donc brûlé 29,683 kilog. de bois pour 37 mètres cubes de chaux, ce qui fait 802 kilog. par mètre cube.

Comme les pierres du bas sont cuites avant celles du haut, pour éviter leur surcalcination, après vingt ou vingt-quatre heures de feu, on met dans la cuvette K, placée en avant du foyer, de l'eau que l'on élève jusqu'au niveau du cendrier; la vapeur produite par la chaleur que rayonne le foyer empêche non seulement la surcalcination, mais aussi facilite le dégagement de l'acide carbonique que peuvent encore contenir quelques morceaux. On ramène dans la cuvette, à l'aide d'un rabot, toute la cendre qui s'entasse dans le cendrier, au-dessus du niveau de l'eau. On maintient le niveau de l'eau constant dans la cuvette, à l'aide d'un réservoir extérieur. La quantité d'eau évaporée pendant la calcination, s'élève à 3 mètres cubes environ, déduction faite des pertes par infiltration à travers la maçonnerie.

La vapeur d'eau joue un rôle tel dans la décomposition du carbonate, que si, après avoir desséché complètement un morceau de carbonate, on le soumet à la cuisson, sa décomposition est impossible, au lieu que si on fait arriver dessus de la vapeur d'eau, le dégagement de l'acide carbonique a lieu immédiatement.

La cuisson de la chaux est opérée, quand le tassement de la masse est de 0^m,50 environ, ou mieux, quand on peut enfoncer, dans cette masse, une barre de fer avec autant de facilité que dans un tas de chaux. Ces essais se font par l'ouverture placée sous le foyer supérieur; pendant qu'ils durent, on tient hermétiquement fermé le foyer et le cendrier inférieurs, sans quoi, l'air chaud et la flamme sortant par l'ouverture, il serait impossible d'en approcher. Une fois la cuisson terminée dans le compartiment inférieur, on commence le feu dans le foyer supérieur. Ce foyer est sans grille, on place les fagots debout sur la chaux du compartiment inférieur. Pendant toute la durée du feu dans le foyer supérieur, on ne laisse qu'une ouverture de 0^m,10 au cendrier inférieur, le cendrier supérieur se tient fermé. Quand la cuisson est également opérée dans ce compartiment, ce qui se vérifie plus facilement que pour le compartiment inférieur, mais par des moyens semblables, on arrête le feu, on ferme hermétiquement tous les orifices, et douze heures après on commence à défourner.

438. *Extinction de la chaux.* On distingue cinq manières de l'opérer, nous allons les passer en revue.

1^o *Extinction spontanée.* Elle consiste à laisser la chaux exposée à l'air, dont elle absorbe l'humidité, en se transformant en hydrate. Cet hydrate contient 0,22 de son poids d'eau, et en y ajoutant de l'eau, on obtient une pâte susceptible d'être employée. Ce mode d'extinction convient aux chaux grasses, car l'exposition à l'air transforme quelques particules en carbonate de chaux, ce qui facilite le durcissement. On ne doit pas l'employer pour la chaux hydraulique, cette chaux perdant ses qualités à l'air; c'est pour cette raison qu'on ne peut la conserver que pendant un certain nombre de mois, et encore en prenant toutes les précautions possibles pour la préserver du contact de l'air et de l'humidité.

2^o *Extinction par immersion.* Elle consiste à plonger la chaux dans l'eau pendant 4 ou 5 minutes, et à l'en retirer pour l'exposer à

l'air, où elle se réduit en poussière que l'on transforme ensuite en pâte. Ce procédé n'a pas sur les qualités de la chaux l'influence qu'on lui avait attribuée, et comme il est coûteux, on ne l'emploie jamais.

3^o *Extinction ordinaire.* Elle consiste à placer la chaux dans un bassin, avec la quantité d'eau convenable pour la réduire en pâte. On l'agite et on la fait couler dans un second bassin, par une vanne pratiquée dans la paroi du premier.

Ce procédé ne peut être usité pour la chaux hydraulique, elle fuse trop lentement; on l'emploie généralement pour la chaux grasse, parce qu'elle foisonne plus que par les autres procédés; mais il convient, pour qu'elle donne une bonne maçonnerie, d'y mélanger un peu de pouzzolane.

4^o *Extinction ordinaire modifiée pour l'emploi de la chaux hydraulique.* Elle consiste encore à placer la chaux dans un bassin de 0^m,40 à 0^m,50 de profondeur seulement, avec une quantité d'eau convenable; mais, au lieu de l'agiter comme dans le mode précédent, on se contente d'introduire une pelle dans les parties où l'eau a de la peine à s'introduire. Ce procédé est celui généralement usité pour la chaux hydraulique; cependant, certaines chaux hydrauliques, entre autres celle de Senonches, ne donnent pas de bons résultats quand elles sont éteintes de cette manière; il vaut mieux avoir recours à l'aspersion. la prise est infiniment plus prompte.

5^o *Extinction par aspersion.* Elle consiste à placer la chaux dans des bassins formés avec du sable, et à l'asperger, à l'aide d'un arrosoir à pomme, d'une quantité d'eau suffisante pour la réduire en pâte, à la couvrir immédiatement avec le sable, et à ne l'agiter et fabriquer le mortier, que quand la fusion est complète. Dans cette extinction, si la chaux est vive, il se produit un grand dégagement de chaleur qui paraît faciliter l'extinction, qui est complète au bout de deux ou trois heures. Il n'y a que des essais comparatifs qui peuvent faire donner la préférence à ce mode d'extinction ou au précédent.

439. *Fabrication de la pouzzolane artificielle.* La pouzzolane (434) est un composé de une à trois parties de chaux pour neuf à sept d'argile, qui a été soumis à une chaleur nécessaire au premier degré de cuisson de la brique.

Comme la chaux hydraulique (436), quand on n'a pas de matières qui renferment naturellement ces proportions, on peut préparer la pouzzolane de toutes pièces, c'est ce que l'on a fait au pont aqueduc de Guétin, sur l'Allier, et à celui de Digoin, sur la Loire, où les matières employées étaient composées d'une partie en volume de chaux grasse cuite et éteinte à l'état de pâte molle, et de quatre parties d'argile, ou plutôt d'une terre argileuse trouvée sur les lieux et amenée par une addition d'eau à la même consistance que la chaux. On opérait ensuite le mélange de ces matières, en les maintenant à la consistance de pâte à brique ordinaire, à l'aide d'un manège à deux roues, semblable à celui employé sur les grands ateliers, à la fabrication du mortier, et dont il a été question pour opérer le mélange des matières employées à la fabrication de la chaux hydraulique artificielle (436).

Le fond de l'auge du manège avait 0^m,20 de largeur, et son rayon moyen 1^m,50; les roues avaient 0^m,10 de largeur de jante, et leurs ornières empiétaient de 0^m,02 à 0^m,03 l'une sur l'autre. Deux hommes rejetaient dans l'intérieur de l'auge les matières qui s'attachaient à ses parois et aux roues; une charrue est peu avantageuse, à cause de la facilité avec laquelle les matières s'y attachent.

La charge de l'auge était de 0^mc,60, et son mélange durait une heure. Un cheval décrivant un cercle de 5 mètres de rayon suffisait pour conduire le manège, en travaillant de huit à dix heures par jour.

Une fois les matières mélangées, on les mettait en pains de la forme d'un prisme triangulaire, au moyen d'un moule imaginé par M. St-Léger. Deux hommes fabriquaient en une journée de douze heures de travail 3,000 à 3,500 pains, dont 650 formaient le mètre cube.

Les pains une fois moulés, on les desséchait en les exposant au soleil; par un beau temps d'été, la dessiccation durait de sept à huit jours. Après cette opération, on emmagasinait les pains sous un hangar couvert, pour les mettre à l'abri de la pluie.

La cuisson s'opérait avec de la houille, mais l'on peut employer le bois. On avait soin de ménager le feu, surtout au commencement de l'opération et jusqu'à la parfaite dessiccation des

pains. Avec un petit feu bien conduit, la cuisson d'une fournée peut durer de trente à quarante heures. La cuisson s'opère dans des fours semblables à ceux qui servent à cuire la chaux au moyen du bois (437).

Au pont-aqueduc de Guétin, on a fait usage d'un double four représenté en coupes verticale et horizontale, figures 22 et 23, planche 11. Sur les faces inclinées du massif qui sépare les deux foyers, on fait des cannelures avec des briques de champ; ces cannelures, faisant office de cheminées, font que la flamme arrive aussi facilement dans le milieu du four que dans les parties qui se trouvent au-dessus des foyers.

On supporte la charge, au-dessus des foyers, à l'aide de voûtes à claires-voies en briques réfractaires.

Un tel four peut contenir 7,000 pains, qui fournissent de quoi faire environ 10 mètres cubes de pouzzolane. Il faut un jour pour le charger, un jour et demi pour la cuisson, et deux jours et demi pour le refroidissement du four et le déchargement, ce qui fait cinq jours par fournée.

M. Saint-Léger a encore établi des fours plus petits que le précédent, et qui portent des séchoirs où on opère la dessiccation des pains avant la cuisson, mais ils sont moins avantageux que le précédent. Du reste, en prenant un peu l'avance pour le mélange des matières et pour la dessiccation naturelle des pains, on peut, en général, dans la saison des travaux, se passer de ces séchoirs.

A Digoin, pour pulvériser la pouzzolane, M. Saint-Léger a fait usage d'un manège garni d'une meule en pierre, du poids de 650 à 700 kilog.; la meule se mouvait sur une plate-forme entourée d'une auge, contre la paroi intérieure de laquelle se trouvait un tamis incliné. Un soc de charrue agitait la matière derrière la meule, et une planche convenablement disposée la faisait tomber de temps en temps sur le tamis, qui séparait les parties encore trop grosses de la matière convenablement broyée; les parties rejetées par le tamis étaient replacées sous la meule.

Un pareil manège peut, en douze heures de travail, pulvériser de 2 mètres cubes à 2^mc,50 de pouzzolane; M. Mary pense que l'on obtiendrait de meilleurs résultats de pulvérisation, au moyen de cylindres à disques en fonte isolés tant pleins que vides, que l'on

ferait rouler sur une plate-forme où l'on aurait répandu la matière; ces disques diviseraient la matière, au lieu d'en faire une masse compacte comme la meule. Ces cylindres sont employés par M. Payen, à Grenelle, pour pulvériser de la matière désinfectante; les disques ont 0^m,02 d'épaisseur, et sont écartés d'autant; leur diamètre est de 0^m,40 environ.

A Guétin, le prix d'un mètre cube de pouzzolane, non compris les frais d'établissement faits par l'administration, s'est élevé à 28 fr., et au pont de Digoin, à 26 fr. Ces prix comprennent les achats de terre et de chaux, leur transport, leur mélange, la fabrication des pains; la cuisson, qui exige environ trois hectolitres de houille, estimés seulement à 3 fr. 50 pour Digoin, par mètre cube de pouzzolane; la pulvérisation, la livraison à la régie dans des caisses de dimensions déterminées, le transport de la matière dans les différents points de l'atelier; l'entretien des fours, manéges et hangar; enfin, les frais d'outils et les bénéfices, qu'à Digoin on a cotés ensemble à 3 fr. 40 par mètre cube de pouzzolane.

Frais d'établissement d'un matériel destiné à fournir de 2 à 2.50 mètres cubes de pouzzolane par jour.

Manège à mélanger l'argile et la chaux.	500 fr.
Un four avec ses abords.	600
Un hangar pour abriter les pains avant leur cuisson.	300
Un manège à pulvériser, avec un hangar assez étendu pour recevoir d'un côté la pierre à pulvériser, et de l'autre l'approvisionnement de pouzzolane pulvérisée.	2 600
Total.	4 000 fr.

Pour des travaux de peu d'importance, on ne peut faire des frais aussi considérables, on se contente de cuire la pouzzolane dans un four ordinaire à chaux ou à briques, sauf à avoir quelques briquettes vitrifiées par l'effet des cendres de charbon qui aident à la fusion de la silice.

La pouzzolane se conserve plus facilement avant d'être employée que la chaux hydraulique, et, de plus, elle permet de donner au mortier le degré d'énergie dont on a besoin, ce qui est impossible avec la chaux hydraulique.

440. *Fabrication de pouzzolane artificielle avec de la terre dolomi-*

tique, d'après M. Vicat. Cette terre, exploitée par entailles et coins de bois, se subdivisait en petites mottes que l'on séchait au soleil ou sous des hangars, pour les cuire ensuite dans un four à chaux ordinaire. La cuisson exigeait un hectolitre de charbon pour seize à dix-huit hectolitres de terre.

Détail des dépenses pour la campagne entière.

Construction du four.	110 ^l ,00
Id. du hangar.	167,70
Exploitation. 582 jours 1/2.	707,40
Cuisson. 202 id.	309,50
Pilonage par des femmes, 281 id.	204,75
Surveillance.	200,00
Houille, 130 quintaux métriques.	174,00
Outils.	85,25
Dépenses diverses.	7,75
Dépense totale pour 211 ^{mc} .75 de pouzzolane.	1 966 ^l ,35
Ce qui fait par mètre cube.	9 ^l ,28

441. A Calais, on fabrique de l'excellente pouzzolane, en cuisant de la terre argilo-calcaire provenant des plages de la mer. Cette terre est produite par les vases calcaires qui résultent de la destruction des falaises de la côte de Normandie, et du limon argileux provenant, soit des alluvions des cours d'eau, soit des couches d'argile couvrant le sommet des falaises. Cette terre s'extrait dans la plage, se sèche et se cuit comme la pâte de pouzzolane artificielle (439).

442. A Brest, où il existe des masses considérables de sable de gneiss, on a soumis ce sable à la calcination dans des fours à réverbère, et on a obtenu une pouzzolane, non très-énergique, mais cependant assez pour que, mélangée à la chaux, le mortier durcisse en sept jours.

443. *Sables et mortiers.* On distingue plusieurs sortes de sables employés à la fabrication des mortiers:

- 1° Le sable calcaire, qui est formé de particules calcaires mélangées de grains de quartz;
- 2° Le sable quartzeux, qui ne contient que des particules de quartz;
- 3° Le sable micacé, qui est formé de débris de granits contenant de la silice et de l'alumine;
- 4° La pouzzolane (434);
- 5° Les arènes, qui sont composées de sable en grains et d'argille.

Quoique, à l'exception des arènes, ces différentes sortes de sables n'exercent à froid aucune action chimique sur la chaux, leur influence sur la dureté des mortiers est sensible, mais non pour toutes au même degré.

Les molécules de chaux grasse ayant entre elles plus de cohésion qu'elles n'ont d'adhérence avec le sable, il en résulte que le sable qu'on y ajoute devrait diminuer la dureté que la masse seule est susceptible d'acquérir; mais comme d'un autre côté le sable facilite la pénétration de l'acide carbonique, et, par suite, le durcissement du mortier, tout en diminuant considérablement la quantité de chaux employée, il en résulte que son concours est très-avantageux.

Les arènes, et même les argiles crues, mêlées à la chaux grasse, dans les proportions d'une partie de chaux pour quatre parties d'arènes ou d'argile, donnent une pâte légèrement hydraulique; ainsi, en peu de jours, le mélange acquiert la consistance d'une pâte ferme insoluble, mais qui ne durcit pas davantage. On ne peut attribuer la qualité hydraulique de la pâte, qu'à l'action que la silice de l'argile exerce sur la chaux, et le peu de dureté qu'elle acquiert, qu'à ce que l'alumine n'ayant pas été torréfiée et durcie, elle empêche la masse de prendre toute la dureté que devrait lui communiquer le silicate.

Dans les pays volcaniques, on trouve, outre les sables précédents, une pouzzolane naturelle qui jouit d'une grande énergie. De même que les ciments hydrauliques, elle est un produit du feu. Sa composition comprend les mêmes éléments que la pouzzolane artificielle (439), et quoiqu'elle ait été soumise à une température de beaucoup supérieure au premier degré de cuisson de la brique, lequel est le plus favorable aux pouzzolanes artificielles, elle n'en jouit pas moins du même degré d'énergie. On ne peut attribuer cette différence de se comporter, qu'à la décomposition qui s'est opérée depuis longues années, et qui a ramené les pouzzolanes naturelles à l'état des pouzzolanes artificielles les plus cuites.

Dans quelques localités, dans le département de l'Aisne, par exemple, on trouve des grès noirâtres, très-friables et d'un aspect terreux, qui jouissent, avec la chaux, des propriétés de la pouzzolane.

Il n'y a aucun sable qui permette à la chaux de durcir, quand il contient des matières animales, il se forme un savon soluble qui empêche la prise du composé; c'est probablement l'absence de ces matières qui fait que les sables de rivières sont généralement préférables aux sables de carrières.

Il n'y a que des expériences directes qui peuvent prescrire les proportions de sable et de chaux qui doivent entrer dans un mortier; elles varient de 1,5 à 3 parties de sable pour une partie de chaux. Jamais le volume de chaux ne doit être moindre que celui des vides que laissent entre eux les grains de sable; le volume du mortier est alors à peu près égal à celui du sable, excepté cependant dans le cas où les molécules de chaux seraient assez volumineuses pour s'interposer entre les grains de sable et en empêcher le contact.

Le volume des vides laissés entre les grains de sable se détermine en remplissant de ce sable, préalablement desséché, une mesure de capacité déterminée, et en versant dessus une quantité d'eau suffisante pour qu'elle effleure la surface du sable; le volume d'eau versé est égal à celui des vides.

D'après M. Raucourt (*Traité de l'art de faire de bons mortiers*), pour les débris de pierres ou cailloux de 0^m,027 à 0^m,04 de diamètre, tels que ceux que l'on mêle au mortier pour la fabrication du béton, il faut, pour un volume de pierre, un demi-volume d'eau et plus, à quelques variations près; pour des sables ou graviers de 0^m,011 à 0^m,014 de diamètre, il faut un demi-volume d'eau; pour des sables gros, de 0^m,002 à 0^m,0045 de diamètre, cinq douzièmes de volume; pour des sables moyens, de 0^m,001 de diamètre, deux cinquièmes de volume; pour les sables fins, de 0^m,00023 de diamètre, un tiers de volume; et pour les sablons et les terres, deux septièmes de volume.

Proportions pour les sables mêlés, d'après le même auteur.

COMPOSITION A PRÉFÉRER.		VOLUME		OBSERVATIONS.
		de sable.	de chaux ou ciment.	
Béton ou mortier mêlé de cailloux.	Cailloux.	20	27	6 + (*)
	Gros sable. . . 1	7		
	Sable moyen. 2			
	Sable fin. . . . 4			
Mortier de gravier.	Gravier.	20	26	6 + (*)
	Sable moyen. 2	4		
	Sable fin. . . . 4			
Mortier de gros sable.	Gros sable. . . 20	5	25	7
	Sable fin. . . . 5			
Mortier de sable moyen.	Sable moyen. 20	5	25	7
	Sable fin. . . . 5			

Il n'y a non plus que des expériences directes qui peuvent donner les proportions de chaux et de sable, ciment ou pouzzolane qui doivent entrer dans la composition, pour obtenir le degré d'hydraulicité ou d'énergie voulue.

Pour des massifs de maçonnerie qui ne doivent être exposés à une action destructive ou à une charge considérable qu'à une époque éloignée, on peut employer un mortier non très-hydraulique; on l'obtient avec de la chaux hydraulique faible et du sable, ou avec de la chaux énergique mélangée avec de la chaux grasse et du sable, ou encore avec de la chaux grasse et du ciment ordinaire. Si, au contraire, les mortiers doivent être soumis à des chances de dégradation, presque au moment de leur emploi, ils doivent être très-énergiques, et, alors, ils se font avec de la chaux énergique et du sable, ou avec de la chaux grasse ou faiblement hydraulique et du ciment hydraulique. Dans tous les cas, il est possible de proportionner l'énergie de son mortier pour satisfaire aux conditions exigées.

Il faut généralement une journée de manœuvre pour fabriquer un mètre cube de mortier, à l'aide du rabot. Le mélange de la chaux et du sable s'effectue sur une plate-forme, afin que la terre ne s'y joigne pas; cette plate-forme se fait en pierre ou en briques, ou mieux en bois, afin que le rabot s'y accroche moins.

En fabriquant le mortier avec un manège à trois roues, mû par deux chevaux, dont nous avons donné les principales dimensions au sujet de la chaux hydraulique artificielle (436), on peut faire facilement de 0^m75 à 1 mètre de mortier par bassinée dont le broyage se fait en une demi-heure. Le travail journalier étant de dix heures, on peut donc fabriquer de 15 à 20 mètres cubes de mortier par jour.

Pour se servir d'une telle machine, on place, dans toute l'étendue de l'auget, la chaux nécessaire à une bassinée, on fait faire quelques tours aux roues, afin de la bien ramollir, et, alors, sans arrêter le manège, on jette à la pelle, au fur et à mesure que le mélange s'opère, la quantité de sable convenable. Pendant que le mélange se termine, on accumule autour de l'auget la chaux et le sable pour la bassinée suivante. Un racloir en fer, qui épouse la forme de l'auget, ramène au fond de cet auget la matière que les roues font monter contre ses parois. Une vanne en bois, convenablement fixée au manège, fait tomber le mortier dans un trou disposé pour le recevoir, en le faisant passer par une soupape que l'on ouvre dans le fond de l'auget.

PRIX D'UN TEL MANÈGE; L'ENTRETIEN EST PRESQUE NUL.

Premier établissement.

Maçonnerie.	133 f.,00
Charronnage.	400 ,00
Total.	533 f.,00
Valeur intrinsèque des matériaux.	91 ,00
Perte.	442 f.,00

Deuxième établissement.

Démolition et transport.	23 f.,00
Maçonnerie.	133 ,00
Charronnage.	8 ,00
Total.	164 f.,00

Service de la machine pour une journée de 10 heures de travail.

Un surveillant.	2 ,50
Deux chevaux à 5 fr.	10 ,00
Quatre garçons à 2 fr.	8 ,00
Intérêt à 10 pour cent du prix de la machine et entretien, en supposant qu'elle n'ait servi que dans un emplacement, et en ne comptant que sur 300 jours de travail par an.	0 ,15
Total.	20 f.,65

Supposant qu'on fabrique seulement 15 mètres cubes de mortier, le prix de cette fabrication revient donc à 1 fr. 38 c. par mètre cube.

444. *Béton.* C'est un mélange de mortier et de pierres cassées de 3 à 4 centimètres de côté. Le volume du mortier doit être supérieur d'au moins $\frac{1}{4}$ à celui des vides existant entre les pierres. Le volume de ces vides se détermine comme pour le sable, en versant sur des pierres sèches, placées dans un vase d'une capacité connue, autant d'eau qu'il est possible; le volume d'eau versé est égal à celui des vides.

Pour les pierres cassées, dont le volume des vides est moyennement de 0,47, il faudra compter sur 0,59 de mortier pour faire un béton plein, et pour les cailloux de diverses grosseurs, dont le volume des vides est moyennement de 0,32, il faudra compter sur 0,40 de mortier. Ce béton plein est employé à former les massifs de fondations qui doivent résister à la pression de l'eau. Quand on emploie le béton à la fondation d'édifices placés au-dessus de la nappe d'eau, comme il peut être perméable, pourvu qu'il soit solide et qu'il puisse résister à la rupture, il suffit que le volume du mortier soit égal à celui des vides, et il peut même être moindre (443).

Quand on fabrique le béton avec la griffe à trois dents, on étend sur l'aire une couche de cailloux convenable pour produire 1 mètre cube de béton; sur cette couche, on étend la quantité convenable de mortier, on retrousse le tas à la pelle, on l'étend ensuite avec la griffe, puis on le retrousse, et ainsi de suite, jusqu'à ce que le mélange soit complet.

Quand on a une grande quantité de béton à fabriquer, il convient de faire usage de la machine à coffres. Une telle machine se compose de dix coffres; sa manœuvre exige de dix à six ouvriers, suivant que l'on veut accélérer plus ou moins le travail.

Les dix coffres étant en fonte et ayant les dimensions indiquées par la figure 1, planche 111, qui en représente deux tout montés en élévation et en plan, la machine coûte 500 fr.

Une telle machine manœuvrée par six hommes, non compris les chargeurs et ceux qui amènent les matières, peut fournir 30 mètres cubes de béton par jour. La fabrication revient à 1 fr. ou

1 fr. 25 le mètre cube, au lieu qu'avec des griffes, elle revient à 2 fr. ou 2 fr. 50. (Voir, n° 458, la manière d'employer le béton.)

MAÇONNERIES.

445. On donne le nom de *maçonnerie* à un ouvrage quelconque composé de pierres plus ou moins grosses reliées par du mortier, du plâtre, de la terre, ou simplement posées à sec en liaison les unes avec les autres; il y a aussi la maçonnerie de pisé, qui est faite en terre desséchée sur place.

La maçonnerie de pierres se fait en pierre de taille, en moellons, en briques, etc., posés par assises régulières ou irrégulières.

Dans la maçonnerie de moellons à assises régulières, on distingue celle où les moellons sont posés bruts, ce qui donne la maçonnerie dite *limosinage* (On se contente d'aligner les parements du mur au cordeau, et de faire quelquefois sauter, par quelques coups de marteau, les aspérités qui rendent par trop irrégulières les faces horizontales et la face apparente des moellons.), et celle où l'on a donné préalablement aux moellons une épaisseur régulière dans chaque assise; quand cette dernière est très-soignée, la hauteur est uniforme pour toutes les assises, ainsi que la largeur des pierres.

La maçonnerie de moellons à assises irrégulières peut se faire en posant les moellons à la main et de manière à parementer le mur, elle prend encore le nom de *limosinage*, ou sans même prendre autant de précautions, ce que l'on fait généralement pour les fondations et pour les doubles murs adossés à un terre-plein, c'est ce que l'on appelle *maçonnerie de blocage*. On appelle aussi blocage le remplissage en éclats de pierre que l'on fait à l'intérieur des murs, entre les pierres ou moellons taillés qui forment les parements, et que l'on place à bain de mortier. La maçonnerie de blocage est d'autant meilleure que l'on proportionne mieux les dimensions des pierres à celles des espaces qu'elles doivent remplir, et qu'elles sont mieux enveloppées d'une couche de mortier sur toute leur surface. Dans la maçonnerie de moellons à assises irrégulières, on peut ranger celle formée de pierres cassées jetées sans précaution, pêle-mêle avec le mortier; c'est la *maçonnerie de béton*.

446. *Maçonnerie de pisé.* On ne l'emploie que pour les constructions rurales, et seulement dans les localités où la pierre est rare ; encore ne doit-on l'établir que sur un socle en pierre s'élevant jusqu'au-dessus du sol.

La terre à briques est la plus convenable pour faire le pisé ; on y mélange, en la pétrissant, de la paille ou du foin pour l'empêcher de se fissurer quand elle se dessèche. La terre sablonneuse, sans liant, est impropre à la confection de cette maçonnerie.

Les murs en pisé se font en posant simplement le mélange de terre et de paille avec une fourche qui sert aussi à dresser les parements du mur, dont la position est déterminée par des cordeaux tendus. Quand cette maçonnerie doit être faite avec plus de soin, on emploie deux planches maintenues à une distance égale à l'épaisseur du mur ; entre ces planches, que l'on place dans les parements du mur, on pilonne la terre par couches, à l'aide de battoirs ou de pilons. Quand cette espèce de coffre est rempli, on fait sauter les clavettes qui relient ses parois aux traverses qui en règlent l'écartement, on retire ces traverses, et on place le coffre en un autre point du mur. Les trous laissés dans le mur par les traverses du coffre se remplissent avec de la terre. En serrant de plus en plus les clavettes des traverses, à mesure que le mur s'élève, on donne le fruit convenable à ce genre de maçonnerie ; ce fruit est ordinairement de 7 à 8 millimètres par mètre de hauteur pour chaque face. Il est évident que ce genre de maçonnerie ne peut être employé que pour des constructions peu élevées et non chargées. On en fait un fréquent usage pour la construction des murs de clôture, qu'il faut avoir soin de couronner d'un paillason en chaume faisant office de corniche ; on charge ce paillason, afin de le maintenir en place, à l'aide d'une espèce de chaperon en terre que l'on renouvelle de temps à autre.

Dans la vallée du Rhône, on construit des maisons à plusieurs étages en pisé ; on rend les murs solidaires entre eux, au moyen de pièces de bois de faible équarrissage reliées entre elles et posées à plat dans les murs de refend et de face. Quelquefois on construit les angles en moellons ; mais, alors, le tassement inégal des différentes parties des murs est une cause grave de destruction. On augmenterait beaucoup la solidité du pisé en plaçant, dans l'intérieur des

murs, des lattes ou des verges disposées horizontalement dans le sens longitudinal, et à des hauteurs différentes.

Un enduit formé d'une partie de chaux pour 4 d'argile, et d'une quantité de bourre suffisante pour en parsemer toute la masse, rend convenable le pisé pour résister à l'action destructive de l'air et de la pluie. Cet enduit ne doit être appliqué qu'après la dessiccation des murs ; on a reconnu que, dans le département du Rhône, des murs de 18 à 20 pouces d'épaisseur, achevés vers le commencement de mai, peuvent recevoir l'enduit à la fin de septembre ; que ceux achevés en juillet et même en août peuvent encore être induits avant l'hiver ; mais ceux finis plus tard exigent au moins six mois de dessiccation. Le vernis ne doit pas être appliqué en temps de gelée, et il convient que le temps ne soit ni humide ni pluvieux. Plus le pisé est sec, mieux l'enduit s'y attache.

447. *Maçonnerie de pierre de taille.* On donne le nom de *pierre de taille* aux blocs de pierre qu'un seul homme ne peut ni manier ni porter, et que pour employer on dresse au moins sur les faces apparentes ainsi que sur les *lits*.

Les *libages* sont les gros blocs de pierre que l'on emploie bruts ou grossièrement dressés sur les faces, pour la fondation des édifices.

Une pierre doit toujours avoir deux faces normales à la direction de l'effort qu'elle supporte et qu'elle transmet ; ainsi, dans un mur vertical, les faces inférieure et supérieure de chaque pierre de taille ou de chaque libage doivent être horizontales. Ces faces prennent le nom de *lits*, et doivent être les mêmes que celles qui forment les lits à la carrière, lorsque les pierres proviennent de roches stratifiées.

La face apparente d'une pierre, c'est-à-dire son *parement*, doit aussi être dressée ; il en est de même des faces latérales, que l'on appelle *joints*, et qui sont toujours perpendiculaires au parement et aux *lits* ; on donne aussi le nom de joint à l'intervalle qui reste entre deux pierres et qui reçoit le plâtre ou le mortier. Les faces sont dressées avec d'autant plus de soin que la construction doit être mieux finie et plus solide.

Dans une construction, on donne le nom d'*assise* à une même rangée horizontale de pierres. La *hauteur d'assise* d'une pierre est la distance entre les lits ; dans une construction solide, elle doit être la même pour toutes les pierres d'une même assise, et si la con-

struction est soignée, elle est la même pour les différentes assises.

La dimension d'une pierre, perpendiculairement à son parement, c'est-à-dire la quantité dont elle pénètre dans l'épaisseur du mur, s'appelle *queue* de la pierre. Pour une même assise, la longueur de queue doit être différente pour deux pierres consécutives, afin de bien relier entre eux tous les matériaux d'une même assise. Une pierre plus longue en parement qu'en queue prend le nom de *carreau*. Le rapport entre la longueur du parement et la hauteur d'assise d'un carreau dépend de la dureté de la pierre : pour une pierre tendre, ce rapport ne dépasse pas 2,5 ; pour une pierre dure, il va à 3,5. Une pierre qui est au contraire plus longue en queue qu'en parement prend le nom de *boutisse* ; sa longueur en parement doit toujours être plus grande que sa hauteur d'assise. Quand une pierre s'étend d'un parement à l'autre du mur, on dit qu'elle fait *parpaing*, et elle-même prend le nom de *parpaing*.

Les joints verticaux d'une assise ne doivent pas correspondre avec ceux des deux assises en contact, leurs plans doivent être éloignés de 0^m,15 à 0^m,20 au moins.

Il faut éviter avec soin de placer des joints verticaux ou horizontaux dans les angles rentrants ou saillants que peut former le parement d'un mur ; ainsi une pierre formant l'angle de deux murs doit faire partie de ces deux murs, afin de les relier ; et, s'il y a une retraite horizontale dans le parement d'un mur, il faut éviter qu'elle corresponde à un lit, afin de ne pas avoir un joint dans une partie où l'eau peut couler ou séjourner.

448. *Bossages et Vermiculures*. Comme il arrive quelquefois que les pierres s'épaufront, c'est-à-dire s'écornent dans les lits, on a imaginé de prévenir cet inconvénient en refouillant d'avance les lits ; c'est ce que l'on appelle faire des *bossages*. Cette opération ne se fait que dans les soubassements, où les pierres sont le plus sujettes aux épaufrures ; dans les murs de soutènement, les piles de pont, les rez-de-chaussée de certains édifices auxquels on veut donner un aspect de solidité. Quelquefois on ne refouille en bossage que les chaînes saillantes placées de part et d'autre des portes, aux angles des bâtiments, etc.

Pour les pierres sujettes à s'effleurir à l'air, on a imaginé de donner d'avance aux parements des murs à peu près l'aspect qu'ils peu-

vent prendre avec le temps ; c'est ce que l'on appelle faire des *vermiculures*.

449. *Appareil*. C'est le détail de la disposition des pierres dans un édifice. *Appareiller* est faire d'avance les dessins qui donnent les formes et les dimensions des pierres qui doivent entrer dans l'édifice. On appelle aussi *appareiller*, tracer la besogne aux tailleurs de pierres, d'après les plans d'appareil ; l'*appareilleur* est un premier ouvrier chargé de ce tracé, et de diriger la pose des pierres et leur raccordement.

450. *Taille de la pierre*. On taille la pierre dans un endroit disposé à cet effet, près de l'édifice à construire, avant de la mettre en place ; c'est ce qu'on appelle *taille sur le chantier*. Cependant la taille de quelques parties ne peut se faire qu'après la pose ; c'est ce que l'on nomme *taille sur le tas* ; les moulures sont dans ce cas ; il en est de même du *ravalement*, qui consiste à régulariser les parements. En même temps que l'on fait le ravalement, on fait le *rejointoiement*, qui consiste à remplir les parties apparentes des joints et des lits avec du mortier.

Pour tailler la pierre, on fait usage de différents outils, dont la forme dépend de la dureté de la pierre, de sa nature et de l'usage auquel on la destine. La pierre calcaire tendre se débite à la scie à dents ; elle se taille avec le ciseau et le marteau tranchant, et on termine les parements à la ripe. La pierre calcaire dure se débite au moyen de la scie sans dent et du sable ; elle se taille au ciseau, au marteau à pointes, à la boucharde, au marteau brételé, et on termine à la ripe. Les marbres et les calcaires très-durs, les granites, les laves, les basaltes, les grès sont taillés à la pointe. On se sert quelquefois, pour tailler les grès, du marteau dit *épinçoir*, que l'on emploie pour fendre les grès, en étonnant la masse par de petits coups de ce marteau frappés dans une direction déterminée ; résultat que l'on obtient également avec la pointe.

Dans beaucoup de localités, pour la pierre destinée aux ouvrages hydrauliques, tels que ponts et écluses, on se contente du fini non désagréable que laisse la boucharde ; à Paris, au contraire, les parements en sont *layés* (451).

L'ouvrier, pour tailler sa pierre, amène le parement qu'il dresse sous un angle de 20 à 25° avec la verticale.

451. *Les outils mis en usage pour la taille de la pierre sont :*

- 1° Le *ciseau* en fer à tranchant aciéré; quelquefois le tranchant est remplacé par une simple pointe;
- 2° Le *maillet en charme*, de forme variable, servant à frapper sur la tête du ciseau ou de la pointe;
- 3° Le *marteau tranchant*;
- 4° Le *marteau à pointes*;
- 5° La *boucharde*, marteau à deux têtes carrées taillées en un grand nombre de pointes de diamant; on l'emploie après le marteau à pointes;
- 6° Le *marteau brételeté*, c'est un marteau dont le tranchant est découpé en dents; il est destiné à faire disparaître les inégalités laissés par la boucharde;
- 7° La *ripe*, tige en fer que l'ouvrier prend à la main; elle porte un tranchant à chaque bout, l'un denté et que l'on passe sur la pierre après le marteau brételeté, et l'autre uni, pour finir la taille; une surface terminée à la ripe est dite *layée*;
- 8° L'*épingoir*, espèce de marteau à deux tranchants non coupants (450);
- 9° L'*équerre* en fer et les règles.

452. *Bardage, montage et pose de la pierre.* Une fois que la pierre est taillée, on procède au *bardage*, qui consiste à la transporter au point où elle doit être employée. On emploie à cet effet une voiture à deux roues, appelée *diable* ou *binard*, qui est manœuvrée par des hommes, appelés *bardeurs*, aidés quelquefois d'un cheval. Pour les petites pierres, on emploie quelquefois une civière appelée *bard*.

Afin de faciliter la manœuvre de la pierre, le chef bardeur, au moins, est muni d'une *pince* en fer, dont une extrémité se termine en langue de chat, tandis que l'autre est recourbée et porte un talon.

Une fois le bardage opéré, la pierre se descend sur le *tas* en la faisant glisser sur un plan incliné, au moyen de rouleaux; on modère, si cela est nécessaire, la vitesse à l'aide d'une corde fixée à la pierre et s'enroulant sur un treuil ou un pieu de retenue. On peut aussi employer, pour descendre la pierre sur le tas, les appareils employés pour l'élever, et qui consistent en une *chèvre* ordinaire, ou en une espèce de *grue* appelée *sapine*, formée d'un grand arbre en sapin tournant sur pivot et maintenu à la partie supérieure par un collier dans lequel tourne un fort goujon fixé à sa partie supérieure; des haubans, convenablement disposés et en nombre suffisant, maintiennent le collier.

Pour fixer la pierre au crochet de la moufle de ces appareils, on emploie une corde sans fin, appelée *élingue*, que l'on dispose au-

tour de la pierre. Crainte que les angles de la pierre ne *s'épaufrant*, on les garnit de petits paillassons aux points où porte l'élingue. Pour les monuments précieux, on remplace l'élingue par un petit instrument en fer, appelé *louve*, qui se loge dans un trou fait avec soin dans la pierre. On ne peut employer la louve avec des pierres tendres; elle les ferait éclater. Souvent on remplace cet instrument, dont l'usage est assez coûteux, par une simple vis à filet triangulaire, dont la tête porte un anneau. On fait au milieu de la pierre, à l'aide d'un *trépan*, un trou de même diamètre que le noyau de la vis, de sorte qu'en y forçant cette dernière, ses filets pénétrant de toute leur saillie dans les parois du trou.

Une fois les pierres descendues ou montées sur le tas, on les conduit au point qu'elles doivent occuper au moyen de rouleaux en bois, dont le diamètre va en diminuant depuis le milieu jusqu'aux extrémités, afin que l'on puisse facilement changer la direction du mouvement, et que les pierres ne portent pas par les angles. Ces rouleaux ont de 0^m,07 à 0^m,08 de diamètre, sur 0^m,60 à 0^m,70 de longueur; on les fait rouler sur des madriers en bois placés sur la maçonnerie, laquelle étant fraîche pourrait s'ébranler sans cette précaution.

La pierre arrivée au point où elle doit être employée, on la présente dans la place qu'elle doit occuper, en la reposant sur de petites cales en bois réglant l'épaisseur du mortier. Une fois qu'on est sûr qu'elle a toutes les dimensions convenables, on la soulève, on l'arrose si elle est poreuse et absorbante; puis on étend, sur toute la place qu'elle doit occuper, une couche de mortier d'une épaisseur un peu plus forte que celle que doit avoir le joint, et sur cette couche on repose la pierre que l'on tasse à coups de maillet, pour faire souffler le mortier jusqu'à ce qu'elle s'appuie sur les cales; il convient d'enlever ces cales une fois que la pierre est bien en place. Si la pierre ne fait pas parpaing (447), on garnit les flaches qui peuvent se trouver sous sa queue, et on la fixe avec du mortier et des éclats de pierre dure.

Un autre moyen de poser la pierre consiste à la poser sur des cales en bois de l'épaisseur du joint de lit, et à garnir ce joint avec du mortier que l'on enfonce au moyen d'une *fiche à dents* (lame en fer plat dentée sur son pourtour); mais la pression énorme du mortier

ébranle quelquefois la pierre; de plus, on risque de ne pas faire parvenir le mortier en tous les points du joint. Il convient de ne faire usage de la fiche à dents que pour les joints montants.

A Paris, on fait généralement usage d'un moyen, le plus mauvais de tous, qui consiste, après avoir posé la pierre sur cales, à remplir les joints et les lits avec du *coulis* (mortier presque liquide), que l'on introduit par la partie supérieure des joints, et que l'on empêche de s'échapper en fermant extérieurement les joints et les lits avec de la corde détordue. La grande quantité d'eau que contient le mortier est absorbée par la pierre, et il se forme des vides, que l'on remplit en partie en remettant du coulis au fur et à mesure que cette absorption se produit; malgré toutes les précautions que l'on peut prendre, il reste toujours des vides, et le mortier n'acquiert jamais une grande dureté; aussi des murs ainsi construits, soumis à certaine charge d'eau, suintent par tous leurs joints.

Les joints montants ne peuvent se garnir de mortier au moment de la pose; on les remplit de mortier mou, que l'on y fait pénétrer avec la fiche à dents après les avoir calfeutrés extérieurement au moyen de corde, ou de mortier, ou de plâtre. Quelquefois on ne fait que les couler, en fichant le mortier avec la truelle pour faciliter le remplissage.

Toutes les pierres d'une assise étant posées, on procède au *dérangement*, qui consiste à bien dresser le lit supérieur de l'assise; sans cette précaution, il serait impossible d'obtenir une maçonnerie bien faite.

Une fois un parement terminé, on en fait le *ravalement* (450), et en même temps le *rejointoiment*, qui consiste à remplir de bon mortier les parties apparentes des joints, après les avoir refouillées profondément et arrosées avec soin.

453. *Maçonnerie de moellons*. On distingue la maçonnerie de *moellons piqués*, celle de *moellons smillés* et celle de *moellons bruts*.

Les *moellons piqués* sont ceux qui sont à peu près taillés comme la pierre de taille (447), c'est-à-dire, dont le parement est dressé, et dont les joints et les lits sont amenés à être normaux à ce parement.

Les *moellons smillés* sont simplement dégrossis; leurs faces sont

plus ou moins flacheuses, mais disposées, autant que possible, comme dans le cas précédent, sans arriver à rendre vives les arêtes.

La maçonnerie de *moellons bruts*, ou *limosinage* (445), est celle faite de moellons, tels qu'ils sortent de la carrière; il convient toujours de rendre à peu près les lits horizontaux. On ne fait guère usage de moellons tout à fait bruts, que pour des massifs, ce qui donne la maçonnerie de *blocage*, à moins que les moellons ne soient bien dressés naturellement, comme cela a lieu pour les bancs supérieurs de beaucoup de carrières.

Pour liasonner les moellons, on suit les mêmes règles que pour la pierre de taille (447); ainsi il faut avoir soin, dans une même assise, de placer un moellon court à côté d'un long, et de ne jamais mettre les joints en ligne droite; il faut éviter aussi que les joints verticaux se correspondent dans des assises en contact.

On pose simplement avec la main les moellons sur une couche de mortier, sans faire usage de cales; une fois posés, on les affermit en frappant dessus quelques coups de marteau, qui font souffler le mortier de tous côtés. Les vides qui restent entre les moellons principaux se garnissent de mortier et d'éclats de pierre ou de moellons plus petits (espèce de blocage (445)).

454. *Maçonnerie de meulière*. La meulière s'emploie en moellons smillés. Dans certaines constructions, auxquelles on veut donner un aspect pittoresque, on l'emploie brute, et on rocaille les joints des parements avec de la pierre meulière brûlée et concassée, dont on assujettit les fragments avec du ciment romain auquel on a donné la couleur rouge de la meulière brûlée (425).

455. *Maçonnerie de briques*. Il faut éviter de briser les briques pour les employer, et on doit les disposer de manière qu'elles se relient le mieux possible entre elles. La fig. 2, planche III, représente leur disposition dans une assise d'un mur dont l'épaisseur est égale à la longueur d'une brique; la fig. 3, planche III, est la disposition à adopter pour une épaisseur d'une brique et demie, et les fig. 4 et 5, même planche, sont des dispositions que l'on peut employer pour des murs de l'épaisseur de deux briques. Dans tous les cas, on a soin de croiser les joints de deux assises consécutives, afin que les briques se relient dans le sens vertical aussi bien que

dans le sens horizontal. Il convient de ne mettre la brique en place qu'après l'avoir plongée dans l'eau; sans cette précaution, elle absorberait l'eau du mortier ou du plâtre. Cette précaution doit aussi être prise pour les moellons absorbants sortis depuis longtemps de la carrière.

456. *Chaînes en pierre de taille, soubassement et baies de portes et croisées, dans les constructions en moellons.* Ces chaînes peuvent être horizontales ou verticales; dans le premier cas, sans présenter d'inconvénient, elles ont l'avantage de bien relier les petits matériaux placés au-dessus et au-dessous; dans le second cas, elles augmentent la solidité et la stabilité aux points où elles se trouvent; mais elles ont l'inconvénient de produire un gonflement ou un tassement différent des autres parties de la maçonnerie, ce qui occasionne des lézardes, quand on n'a pas soin de laisser, comme on le fait à Paris, quand on juge convenable de faire en pierre de taille les angles des maisons, du jeu entre les moellons et les chaînes en pierre de taille. Ce jeu permet le gonflement du plâtre qui se cristallise, et ensuite son retrait, ou le tassement du mortier, mouvements qui sont proportionnels au nombre de joints et à leur épaisseur. On ne relie les moellons aux chaînes, et on n'enduit les parements du mur, que quand le retrait s'est opéré dans toute la masse.

Il convient qu'un mur en moellons ou en briques soit chaussé d'une assise en pierre de taille un peu enterrée, s'élevant au-dessus du sol, et que l'on nomme *soubassement*. Dans les murs on doit placer la pierre la plus résistante à la surface du sol.

Un moyen efficace d'empêcher l'humidité de s'élever dans les murs, est de placer une couche de bitume sur la première assise au-dessus de la fondation.

Les jambages, les linteaux et les appuis des croisées et des portes se font souvent en pierre de taille, surtout dans les constructions en briques. Il est nécessaire que les pieds-droits soient de plusieurs assises et de pierres d'inégales longueurs, afin qu'ils se relient bien avec les petits matériaux qui composent les trumeaux.

Les linteaux sont quelquefois formés d'une seule pierre; mais, alors, il faut construire au-dessus une voûte qui reporte le poids

de la maçonnerie supérieure sur les pieds-droits. Il vaut mieux construire les linteaux au moyen de plusieurs pierres disposées en voûte, dite *plate-bande*, qu'il faut appareiller avec soin.

On est dans l'usage, à Paris, pour les maisons construites en moellons, de faire les linteaux en bois; ce qu'il faudrait éviter, car le bois pourrissant, c'est ordinairement par là que les maisons périssent. Il convient de substituer, comme on le fait quelquefois, le fer et la fonte au bois.

457. *Voûtes d'édifices.* Dans les bâtiments civils, on ne fait ordinairement usage de voûtes que pour les étages souterrains. Elles sont généralement en plein cintre et on les fait en moellons, à l'exception des pieds-droits des portes de communication d'un berceau à l'autre, lesquels sont généralement en pierre de taille. Les voûtes de caves sont ordinairement en moellons piqués, ou au moins smillés (453); les moellons bruts ne présentent pas une solidité suffisante; il faut que les voussoirs soient appareillés ou au moins taillés de manière qu'à la pose, les joints tendent à l'axe; sans cela, la solidité de la voûte ne consisterait que dans l'adhérence du mortier.

Il arrive cependant quelquefois que l'on construit des voûtes pour les pièces du rez-de-chaussée des édifices publics tels que mairies, halles publiques, tribunaux. Lorsque les pièces voûtées doivent servir de lieu de réunion, on fait des voûtes en plein cintre; il est rare alors qu'on les exécute en pierre de taille; pour réduire la dépense, on les fait le plus souvent en moellons, ou en briques ou en poterie. Quant aux voûtes d'arêtes, comme toute la poussée se reporte sur les pieds-droits, et que les voussoirs inférieurs ont à résister à un effort considérable, on est obligé de les construire en pierre de taille.

Pour les voûtes en petits matériaux, il faut employer le meilleur mortier ou plâtre possible, afin que, reliant entre eux tous les matériaux, la voûte et les points d'appui exigent une moindre épaisseur. C'est pour les mêmes raisons que l'on doit employer, surtout pour les voûtes exécutées hors du sol, les moellons de la plus faible densité, ou mieux la brique, qui fait parfaitement corps avec le plâtre ou le mortier, ou mieux encore la brique creuse ou poterie,

laquelle, ayant la même adhérence que la brique, est beaucoup plus légère.

Pour les voûtes, comme pour les murs en élévation, les moellons doivent être disposés par cours d'assise de manière à faire croiser les joints de deux assises voisines, et de manière que, dans une même assise, les moellons formant boutisse soient placés entre deux carreaux (447), et que s'il y a plusieurs moellons d'épaisseur, le second rang se relie avec le premier.

On monte les deux côtés de la voûte à la fois, afin que leur poussée se fasse équilibre sur le cintre et ne le détruise pas, et que de plus, le mortier prenant la même consistance des deux côtés, le tassement soit égal. On ne place les planches du cintre qu'au fur et à mesure que l'on élève la voûte, afin que l'ouvrier ait l'ouvrage devant lui, et placé à une hauteur convenable pour sa facile exécution.

Quand il ne reste plus que trois assises à poser, on commence à bander et à fermer la voûte par l'une de ses extrémités. On pose de part et d'autre deux ou trois moellons, aussi longs que possible, que l'on appuie sur le cintre; une fois posés, on les affermit à coups de marteau sur un bourrelet de mortier soufflant; on recouvre leur face de mortier, et on introduit alors la clef, bien taillée d'avance en forme de voussoir, dans le vide laissé entre les moellons que l'on vient de poser; on l'enfoncé en la frappant avec une dame du poids de 15 à 20 kilog., jusqu'à ce qu'elle s'appuie sur le cintre. Il est évident que l'on doit prendre les plus beaux et les meilleurs moellons pour former les dernières assises de voussoirs et surtout la clef.

Lorsque ces premiers moellons sont bien assurés et que le mortier souille de toutes parts, on introduit dans les joints, à coups de marteau, des éclats de pierre dure. Cette première clef étant bien bandée, on continue de la même manière à fermer la voûte, en allant à reculons.

Les voûtes en briques peuvent se construire de la même manière que celles en moellons, c'est-à-dire, en plaçant les briques en carreaux et boutisses, en leur faisant former voussoir sur leur épaisseur. Dans ce cas, on peut les relier avec du plâtre et du mortier, en ayant soin de garnir les joints à l'extrados avec des éclats

d'ardoise ou de pierre mince, à moins cependant que les briques n'aient la forme de voussoirs.

Quelquefois les briques sont simplement posées à plat sur le cintre, et, alors, reliées par du plâtre ou du ciment romain; on emploie ce procédé pour faire des voûtes minces et plates. On prépare, dans les murs qui doivent porter la voûte, des coussinets dans lesquels la voûte vient s'engager et s'appuyer.

Pour les voûtes en briques, il faut prendre la précaution indiquée n° 455, qui consiste à tremper les briques dans l'eau, avant de les mettre en contact avec le plâtre; sans quoi elles absorbent l'eau qui a servi à gâcher celui-ci, qui, alors, ne contient plus une quantité d'eau suffisante à sa cristallisation.

On ne doit jamais fermer la voûte à la clef avant que le plâtre ait fait tout son effet, sans quoi le gonflement du plâtre dérangerait les pieds-droits de leur aplomb.

On doit commencer les voûtes en arc de cloître par la clef, et aller en s'avancant vers les naissances; sans cette précaution, on aurait beau laisser du jour à la clef, comme les quatre parties de la voûte se contrebutent mutuellement entre elles, la poussée se transmettrait toujours sur les pieds-droits.

458. *Fondation des édifices.* Pour un mur continu établi sur un sol naturel de terre franche, il suffit que la partie située dans le sol fasse une saillie de 0^m,05 à 0^m,10 sur chacun des parements du mur; cet excès suffit pour que l'on soit sûr que la fondation sera pleine sur une épaisseur au moins égale à celle du mur, et qu'il n'y aura pas de porte-à-faux, quoiqu'elle ne soit pas parementée.

Pour des piliers isolés supportant une forte charge, l'empatement précédent de la fondation, sur tout le pourtour du pilier, est insuffisant; on est obligé de les fonder sur un mur continu construit comme pour le mur que remplacent ces piliers. Souvent même, afin de répartir la pression des piliers sur toute la longueur du mur de fondation, on dispose ce mur en voûtes renversées dont les naissances sont placées sous les socles des divers piliers. Dans certains cas même, les piliers reposent sur les naissances d'une voûte d'arête renversée qui reporte la charge sur toute l'étendue de l'espace qui sépare les piliers.

Afin que le tassement soit le même dans tous les piliers isolés, on

les construit du même nombre d'assises, on donne la même épaisseur aux joints, et on taille les lits pleins et bien perpendiculaires à l'axe.

C'est surtout pour les piliers isolés que l'on doit placer les pierres les plus résistantes au niveau du sol, et jusqu'à une profondeur de 0^m,15 à 0^m,20 (n° 456).

Comme le sol argileux remué, ou même naturel, est compressible, avant d'y établir des fondations, on doit charger le fond des excavations, à l'aide d'un massif de pierre d'un poids au moins égal à celui de la construction, et reposant sur un plancher en mardriers; si le sol s'affaisse, on augmente le poids du massif jusqu'à ce que le sol soit complètement tassé.

Si le sol était trop compressible pour supporter le poids de la construction, on le consoliderait au moyen de pieux en bois, si le sol était toujours noyé jusqu'au niveau des fondations. Si le sol était élevé au-dessus de l'eau, on batterait un pieu en bois, que l'on retirerait pour remplir avec du sable l'alvéole qu'il a laissée; on a soin de mouiller le sable, afin d'en obtenir le tassement complet. Si le sol était tantôt à sec et tantôt dans l'eau, on remplirait l'alvéole avec du mortier. On fait autant de ces pieux en sable ou en mortier que cela est nécessaire pour rendre le sol résistant.

Si l'espace occupé par la maçonnerie était très-grand, on pourrait, après avoir consolidé le sol au moyen de pieux en sable ou en mortier, le couvrir d'une couche de sable mouillé, de 0^m,60 à 0^m,80 d'épaisseur, que l'on couvrirait à son tour d'une couche de béton bien pilonnée. On a soin que ces couches s'étendent de part et d'autre des parements de la maçonnerie. La couche de sable ainsi posée est incompressible, et a l'avantage de répartir également la charge sur toute l'étendue des fondations.

On était dans l'usage de commencer les fondations par une ou plusieurs assises de libages (447), mais depuis quelques années on y a substitué le béton, qui ne coûte qu'environ le quart des bons libages; on donne à la couche de béton de 0^m,50 à 0^m,60 et jusqu'à 0^m,80 d'épaisseur, avec une saillie sur les parements de la fondation.

Les fondations en béton doivent être exécutées par couches horizontales. Afin que les parties faites un jour se raccordent bien avec

celles qui se font le lendemain, on termine leurs extrémités par redans horizontaux, et lorsqu'on recommence, avant de placer du nouveau béton, on applique une couche de mortier frais sur tout le béton posé la veille et déjà raffermi.

459. *Outils d'un maçon.* Un maçon se sert :

- 1° D'une *auge* en bois de 0^m,66 de longueur en haut et 0^m,52 au fond, sur 0^m,43 de largeur en haut et 0^m,36 au fond, et de 0^m,20 de profondeur;
- 2° D'une *truelle* de 0^m,19 de longueur, moins large à l'extrémité que près du manche. A Paris, quand elle sert à prendre le mortier, on l'appelle *guerluchone*, la *truelle* sert pour le plâtre. La guerluchone est en fer et légèrement arrondie à son extrémité; la truelle est en cuivre et à angles vifs, afin qu'elle ne soit pas attaquée par le plâtre, et que l'on puisse bien nettoyer les angles de l'auge avant de gâcher de nouveau plâtre;
- 3° D'un *marteau* qui a une tête carrée d'un côté, et un tranchant de l'autre; la tête sert à débiter les moellons et à les assujettir sur le lit de mortier, et le tranchant à tailler les moellons qui n'ont pas les formes convenables, et surtout à rendre les lits horizontaux;
- 4° De *cordeaux* et de *fiches* en fer servant à indiquer la position du mur à construire. Pour fixer les cordeaux, on établit de part et d'autre du mur à construire deux liteaux sur lesquels on cloue différentes traverses qui servent d'attaches aux ficelles. Quand le mur à construire se raccorde à d'autres existants, les fiches en fer, que l'on plante dans ces murs, servent à fixer les cordeaux;
- 5° D'un *fil à plomb* qui lui sert à élever les parements verticaux. Outre le cylindre en plomb, fixé à l'une des extrémités de la ficelle, une plaquette en tôle carrée, dont le côté est égal au diamètre du cylindre, porte en son milieu un trou dans lequel passe librement la ficelle. De ces dispositions, il résulte que le maçon appliquant une arête de la plaquette contre le parement du mur, le cylindre en plomb, qu'il a convenablement éloigné de la plaquette, sera tangent au parement du mur, si le mur est d'aplomb; il en sera éloigné, si le mur surplombe; et il portera dessus, si le mur a du fruit.
- 6° D'une *règle* en bois suffisamment grande, qui lui sert à vérifier si les différentes parties de son mur sont droites;
- 7° D'une *équerre de maçon*, triangle isocèle formé par trois règles en bois, au sommet duquel est fixé un petit fil à plomb. Après avoir fait reposer la base du triangle sur le lit d'une pierre, si le fil correspond à une marque faite au milieu de la base du triangle, c'est que le lit est horizontal. Pour vérifier si une surface d'une certaine étendue ou deux petites surfaces éloignées sont de niveau, le maçon applique sa règle sur ces surfaces, et c'est sur la règle, qui doit avoir une égale largeur dans toute sa longueur, qu'il applique son équerre.
- 8° D'un *oiseau* pour le transport du mortier. Il est formé de deux planches clouées à angle droit, sous l'une desquelles se trouvent deux branches de 0^m,50 environ de longueur, et que l'ouvrier met à califourchon sur ses épaules. Pour descendre le mortier dans les fondations, on établit une espèce d'auge formée de deux planches clouées à angle droit, allant du dessus du massif que l'on établit au bord supérieur de la fouille; le porteur de mortier versant l'oi-

seau à la partie supérieure de l'auge, celle-ci amène le mortier au point où il doit être employé.

Pour le plâtre, on ne fait pas usage de l'oiseau; le maçon a deux auges, et pendant qu'il emploie le plâtre qui est dans l'une, le gâcheur place dans l'autre le plâtre et la quantité d'eau convenable, sans agiter le mélange, et l'apporte, en la plaçant sur sa tête, au maçon qui seulement agit bien le plâtre dans l'eau.

- 9° D'une *taloche*, petite planchette rectangulaire en bois léger, sur l'une des faces de laquelle se trouve une poignée également en bois; elle sert à appliquer le plâtre contre les parois des murs et contre les lattes des plafonds, et à l'y maintenir jusqu'à ce qu'il ait pris assez de consistance pour y rester adhérent.
- 10° D'une *truelle brételée*; c'est une plaque d'acier rectangulaire, portant un manche perpendiculaire à son plan; un des grands côtés de la plaque est denté et sert à dresser les surfaces, l'autre est uni et se passe sur le plâtre après le côté denté.
- 11° D'un *riflard*, ciseau assez large, avec manche en bois; il sert à dresser les surfaces dans les angles rentrants des moulures des corniches en plâtre.

PANS DE BOIS ET CLOISONS.

460. *Pans de bois et cloisons.* Dans les localités où la pierre et la brique sont coûteuses, on les remplace par le bois pour les façades de maisons sur les cours, pour les petites ailes de peu d'importance, et surtout pour les murs de refend. Les murs de face sur la rue, et les murs mitoyens, qui contiennent ordinairement les cheminées, doivent être en maçonnerie.

Les cloisons en bois sont très-commodes pour les distributions intérieures; elles sont avantageuses, en raison de leur prix modéré, et parce que tout en ménageant la place, elles chargent peu les planchers.

En raison du peu d'épaisseur des pans de bois, et de leur faible poids, on conçoit qu'ils n'ont aucune stabilité par eux-mêmes (39⁴), et qu'ils ne se soutiennent que parce qu'ils sont maintenus par les murs, pans de bois ou cloisons en retour, ou encore par les combles et planchers.

Dans les pays où le bois est très-abondant, comme en Russie, les pans de bois sont formés de pièces jointives horizontales qui s'assemblent à mi-bois dans les pièces qui composent les pans perpendiculaires. On conçoit qu'en raison de la grande quantité de bois qu'entraîne cette disposition, on doit y renoncer dans les pays où

le bois a une certaine valeur; alors, on forme les pans de bois et les cloisons avec des poteaux verticaux non jointifs, s'assemblant dans des pièces horizontales.

La disposition la plus généralement adoptée pour les pans de bois et cloisons est celle indiquée fig. 6, planche III, en laissant entre les pièces des vides égaux aux pleins. Quand toute la charpente d'un pan de bois est montée, on remplit les vides avec de la maçonnerie de petits moellons, de briques ou le plus souvent de plâtras (débris plus ou moins gros de plafond, de pans de bois ou de toute autre construction); faire ce remplissage s'appelle *hourder*. Pour des constructions de peu d'importance, les vides laissés entre les pièces de bois sont beaucoup plus grands que les pleins. On fait des cloisons vides, sans hourder; c'est ce que l'on fait quand elles sont en porte-à-faux sur des planchers.

Un pan de bois de trois étages, hourdé plein et ravalé sur les deux faces aurait une épaisseur de 0^m,216, et une stabilité (poids multiplié par la demi-épaisseur (39⁴)), seulement égale au 1/7 de celle d'un même mur de face en moellons ou en briques, qui devrait avoir 0^m,43 d'épaisseur.

Ce n'est qu'en reliant les pans de bois aux murs mitoyens, aux pans de bois transversaux et aux planchers, à l'aide de tenons ou harpons en fer, qu'on peut leur donner une stabilité convenable.

Non-seulement les pans de bois sont moins durables que les murs, mais ils sont aussi plus coûteux dans beaucoup de localités. M. Mary rapporte qu'à Paris, d'après les prix de 1841, un mètre carré de mur en moellons, de 0^m,43 d'épaisseur, ravalé des deux côtés et évalué sans usage, tout vide rabattu, coûte 10 fr. 55c, tandis qu'un mètre carré de pan de bois de 0^m,21 d'épaisseur, hourdé et ravalé en plâtre des deux côtés, revient à 13 fr. 15 c. Pour la pierre de taille, dite pierre franche, que l'on emploie le plus communément à Paris pour les rez-de-chaussées, le prix d'un mur de 0^m,43 d'épaisseur, revient à 39 fr. 45 c. le mètre carré. D'après ce qui vient d'être dit, on voit que les murs en moellons devront être préférés aux pans de bois, toutes les fois que le temps et l'espace le permettront.

Noms des différentes pièces qui composent un pan de bois ; fig 6, pl. III :

- aaa* *sablières*, pièces dans lesquelles toutes les pièces verticales s'assemblent à tenons et mortaises ;
- a'a'* *sablières de chambrée* ;
- a'* *sablière* prenant le nom de *poitrail*, quand, comme dans la figure, elle surmonte une large ouverture ;
- bb* *poteaux corniers* ; ils sont plus forts que les autres ;
- ccc* *poteaux d'huissérie* ; l'ensemble des poteaux d'huissérie et du *linteau*, pièce horizontale qui couronne une porte ou une croisée, se nomme *l'huissérie* de la porte ou de la croisée ;
- ddd* *poteaux de remplage*, c'est-à-dire, de remplissage ; ils sont ordinairement plus petits que les poteaux d'huissérie et surtout que les poteaux corniers ;
- eee* *guettes*, pièces de bois faisant un angle de plus de 60 degrés avec les sablières ; on les incline en sens inverse, afin d'obvier aux inconvénients qui résultent du relâchement des assemblages par suite de la dessiccation des bois.
- fff* *décharges*, on nomme ainsi les pièces dont l'inclinaison sur les sablières ne dépasse pas 60° ; elles sont destinées non-seulement à obvier au relâchement des assemblages, mais aussi à reporter sur les poteaux d'huissérie le poids des trumeaux qui se trouvent au-dessus d'un grand vide, de manière à soulager le *poitrail* qui couronne cette ouverture, ce qui est surtout nécessaire quand le pan de bois porte plancher.
- Les guettes et les décharges s'assemblent à *tenons en about* dans les pièces horizontales auxquelles elles aboutissent, c'est-à-dire que les tenons et leurs épaulements sont coupés à peu près en retour d'équerre du côté de l'angle aigu, de manière à ce qu'ils pénètrent à angle droit dans les pièces qui les reçoivent.
- Quelquefois, afin de donner plus de solidité aux trumeaux d'encoignure, on remplace les simples guettes ou décharges par des croix de Saint-André formées par des pièces qui s'assemblent à mi-bois au point où elles se rencontrent, et à tenon en about dans les sablières.
- ggg* *tourneuses*, pièces de bois assemblées à tenons et mortaises dans les sablières et dans les guettes ou décharges. Quelquefois on se contente de couper les tourneuses obliquement, à la demande des guettes ou décharges, sans faire de tenon ; on les arrête seulement avec de grands clous, appelés *dents de loup*, ou avec des chevillettes ; afin de ne pas fendre les tourneuses, on prépare les trous des clous ou des chevillettes à l'aide d'une vrille ;
- hhh* *potelets*, petits poteaux garnissant le dessus des linteaux et le dessous des appuis des croisées.
- iii* bouts des solives des planchers ; lorsque les solives sont posées sur des cloisons, elles ne sont pas apparentes sur la façade.

Nous avons donné au n° 394 une règle pour déterminer l'épaisseur d'un pan de bois ; cette épaisseur, pour un pan de bois élevé de 3

à 4 étages, est ordinairement de 0^m,20 à 0^m,25. Les poteaux corniers ont de 0^m,25 à 0^m,27 d'équarrissage ; cet équarrissage est le même pour les poteaux formant les pieds-droits d'une grande ouverture, et l'angle des trumeaux dits *d'étriers* ; les sablières ont de 0^m,216 à 0^m,25 ; et les pièces de remplissage, poteaux, tourneuses, potelets, guettes, décharges, croix de Saint-André, ont de 0^m,162 à 0^m,19.

Un poitrail de devanture de boutique ou de porte cochère doit, lorsqu'il supporte un pan de bois, avoir une dimension verticale égale au 1/12 environ de la largeur de l'ouverture qu'il couronne (168).

Lorsque les cloisons intérieures portent planchers, les poteaux d'aplomb doivent avoir une épaisseur égale au 1/12 de leur hauteur. Les décharges et les sablières ont une largeur et une épaisseur plus forte de 0^m,027 environ. Les cloisons de simple séparation n'ayant pas besoin de monter de fond, il suffit que leurs dimensions soient moitié des précédentes ; souvent même, afin de les rendre plus légères, au lieu de les hourder pleines, on les laisse creuses, et on pose seulement un enduit sur des lattes clouées l'une à côté de l'autre sur les poteaux. Afin de diminuer les chances de flexion des poteaux de ces cloisons creuses, quand ils ont une certaine hauteur, on les réunit en leur milieu, et en d'autres points, si cela est nécessaire, par des liernes horizontales.

Une cloison de séparation doit pouvoir être posée d'une manière quelconque sur le plancher de la pièce que l'on sépare ; mais lorsqu'on est obligé de la placer dans le sens de la longueur des solives qui supportent le plancher, afin de soulager la solive placée en dessous, et qui en supporte le poids, on place des décharges qui reportent une partie de ce poids sur les extrémités de la solive, sinon sur le mur. C'est encore dans le but de soulager la solive travaillante, que l'on met quelquefois dans l'intérieur de la cloison des tirants qui embrassent la solive et vont s'attacher sur les décharges.

Le tableau suivant, *extrait du Traité de l'art de la Charpenterie*, par M. Emy, donne les grosseurs que les praticiens donnent le plus communément aux pièces qu'ils emploient dans les pans de bois de 3^m,25 à 3^m,90, sous planchers, et aux rez-de-chaussée,

pour les bâtisses de trois étages. Les pans de bois se montent d'aplomb à l'intérieur, mais à l'extérieur ils ont un fruit de quelques lignes par étage, ce qui diminue en conséquence l'équarrissage des pièces des parties supérieures des pans de bois.

PANS DE BOIS DES FAÇADES (de 3 ^m .90).	<i>Épaisseur.</i>	0 ^m .217 à 0 ^m .244
Poteaux corniers et poteaux de fond. <i>Équarrissage.</i>		0 ^m .244 0 ^m .271
Poteaux d'étrière.		0 ^m .217 0 ^m .244
Sablères hautes et basses.		0 ^m .217 0 ^m .244
Poteaux d'huissierie.		0 ^m .189 0 ^m .217
Poteaux de remplage.		0 ^m .162 0 ^m .217
Écartement des poteaux de remplage.		0 ^m .271 0 ^m .225
Guettes, décharges, croix de St-André.		0 ^m .162 0 ^m .217
Tournisses et potelets.		0 ^m .135 0 ^m .217
PANS DE BOIS INTÉRIEURS ou cloisons	{ de 3 ^m .90. <i>Épais.</i>	0 ^m .162
	{ au-dessus de 3 ^m .90.	0 ^m .189
Poteaux { portant plancher. <i>Equarrissage.</i>		0 ^m .135 0 ^m .162
	{ ne portant pas plancher.	0 ^m .108 0 ^m .135
CLOISONS DE REFEND ou en porte-à-faux.		0 ^m .081 0 ^m .135

Toutes les pièces qui composent un pan de bois ou une cloison en charpente doivent être assemblées entre elles à tenons et mortaises entrés de force et chevillés.

Afin de garantir les bois de l'humidité, on établit les pans de bois et les cloisons sur des soubassements en moellons ou pierre de taille, s'élevant à au moins 0^m,60 au-dessus du sol.

Une fois la charpente d'un pan de bois établie, on procède au remplissage. Pour cela, on cloue sur une de ses faces des lattes éloignées entre elles de 0^m,06 à 0^m,11, on garnit l'intervalle entre les poteaux de plâtras hourdés grossièrement avec du plâtre, et on place un lattis du côté où le *hourdis* a été fait, comme sur l'autre face. Cette opération faite, après avoir nettoyé la poussière et arrosé le hourdis, on procède au *gobetage*, qui consiste à appliquer du plâtre liquide sur le lattis, avec un balai ou avec la main. Une fois le gobetage sec, on applique le *crépi*, qui se fait avec du plâtre gâché plus serré; ce crépi se jette à la main et s'étend avec le

côté de la truelle, afin que la surface restant raboteuse, l'*enduit* ou troisième couche y adhère mieux.

Le crépi se fait avec du plâtre écrasé passé au panier, au lieu que l'*enduit* se fait avec du plâtre fin passé au tamis de crin.

Afin d'obtenir des surfaces bien planes, on fixe deux règles sur le gobetage, après les avoir plombées avec soin; et au moyen d'une règle mobile qu'on traîne sur les deux règles fixes, qui doivent effleurer l'*enduit*, on arrive à rendre ce dernier parfaitement plan. L'*enduit* s'étend avec le dos de la truelle ou la *taloche*; mais comme, malgré tous les soins que l'on peut prendre, il est impossible d'obtenir une surface plane bien unie, on obtient ce résultat au moyen de la truelle brételée (459).

On fait quelquefois des cloisons creuses, c'est-à-dire qu'on ne fait pas de hourdis entre les pièces de bois qui forment la charpente; dans ce cas, le lattis doit être jointif, et on applique successivement dessus, le gobetage, le crépi et l'*enduit*, comme dans le cas précédent.

PLANCHERS.

461. *Planchers.* Ce sont les séparations des étages d'un édifice; ils se composent de trois parties principales: le plafond, la charpente et le carrelage ou parquet.

La figure 7, planche III, représente en plan la manière dont on dispose les différentes pièces d'une charpente de plancher.

- aa solives*; leurs extrémités reposent sur des murs, des pans de bois, des cloisons, et quelquefois, dans les anciennes constructions, sur de fortes poutres.
- bb solives d'enchevêtreure*; elles peuvent reposer comme les précédentes.
- cc solives d'enchevêtreure boiteuses*; une de leurs extrémités repose comme pour les précédentes, mais l'autre est assemblée à tenon et mortaise dans un chevêtre ou un lincoir.
- dd chevêtres*; leurs extrémités sont assemblées dans les solives d'enchevêtreure; quelquefois une seule extrémité est ainsi assemblée, l'autre repose sur le mur. Ils supportent les extrémités des solives de remplissage. On en fait usage non-seulement quand on manque de solives d'une longueur suffisante, mais aussi pour laisser vide l'espace occupé par une cheminée ou un escalier.
- ee faux chevêtres*; ce sont des chevêtres placés derrière d'autres, pour remplir l'espace entre un vrai chevêtre et le mur.
- f lincoir*; pièce de bois dans laquelle on assemble les solives qui correspondent aux fenêtres et portes des mur de face, ou aux tuyaux de cheminées

des murs de refend. On appelle aussi *linçoir*, une pièce de peu de longueur, telle que la pièce *g*, qui s'assemble dans un chevêtre à une extrémité, repose sur le mur par l'autre, et qui reçoit l'assemblage d'un faux chevêtre. On appelle encore *linçoir*, la pièce qui reçoit les abouts des chevrons d'une charpente, en face d'une lucarne ou d'un tuyau de cheminée.

hh *soliveaux*. Ce sont de petites solives assemblées entre un ou deux chevêtres ou linçoirs, et qui remplissent l'espace libre à côté d'une cheminée ou d'un passage de cheminée.

ii *entretoises*.

k place d'unâtre.

k' passage d'un tuyau de cheminée.

k'' passage d'un escalier.

462. *Ordonnances relatives aux positions que doivent occuper les différentes pièces d'une charpente de plancher, par rapport aux âtres des cheminées, aux tuyaux passant des étages inférieurs, et aux vides des portes et croisées des étages inférieurs :*

- 1° Écarter les solives d'enchevêtrement de 0^m,325 de plus que le dedans-œuvre des jambages des cheminées de moyenne grandeur, ou, tout au moins, les tenir de 0^m,027 de chaque côté plus espacées que le dedans-œuvre des grandes cheminées.
- 2° Laisser 1^m,14 de distance depuis le fond du vide de l'âtre, jusqu'au devant du chevêtre qui porte les solives de remplissage. S'il y a des tuyaux de cheminées passant derrière l'âtre, la distance de 1^m,14 se compte à partir du dedans de la languette qui recouvre le contre-cœur.
- 3° Faire un recouvrement de 0^m,162 d'épaisseur sur toutes pièces de bois, chevêtres, linçoirs, solives d'enchevêtrement, pour les séparer de l'intérieur des tuyaux de cheminées. Pour soutenir ce recouvrement, on implante dans les pièces de bois des chevilles en fer ou des clous de bateaux.
- 4° Ne faire en bois aucun manteau de cheminée, ni adosser les tuyaux de cheminées contre des cloisons en charpente; ne pas poser les âtres sur des solives en bois, et ne placer aucune pièce de bois dans les tuyaux de cheminées.
- 5° Éviter surtout de mettre au devant de trois tuyaux passants, un linçoir commun, qui aurait peu de solidité à cause de sa trop grande portée; mettre entre le second et le troisième tuyau une enchevêtrement scellée dans le mur, en ayant soin de laisser, comme il est prescrit, 0^m,162 de recouvrement en maçonnerie, de part et d'autre de l'enchevêtrement, jusqu'au dedans-œuvre des tuyaux.

463. *Dimensions des pièces de la charpente des planchers.*

Les solives d'enchevêtrement, en raison du poids considérable qu'elles supportent (elles soutiennent non-seulement les jambages et les âtres des cheminées, à l'aide de bandes de fer formant tre-mie, mais aussi les chevêtres et les linçoirs), doivent être scellées

de 0^m,22 à 0^m,25 dans les murs. Chacune des dimensions transversales de ces solives doit avoir au moins 0^m,027 de plus que les solives ordinaires ou de remplissage.

Les tenons des chevêtres et linçoirs se renforcent en taillant en congé un petit pan incliné dans l'angle rentrant de la face supérieure du tenon; et même, si la longueur de ces pièces atteint 1^m,50 à 2^m,00 et qu'elles supportent des solives de remplissage d'une certaine longueur, il convient de soulager leurs tenons à l'aide d'étriers en fer, qui passent sous leurs extrémités et viennent se clouer sur les solives d'enchevêtrement. Quand les linçoirs sont placés le long des murs, on peut remplacer les étriers par des corbeaux en fer scellés dans le mur.

Au lieu de sceller les solives dans les murs, ce qui a l'inconvénient de diviser ces derniers, on les supporte quelquefois par des pièces de bois appliquées contre les murs, comme l'indique en coupe la figure 8, planche III. Ces pièces, que l'on appelle *lambourdes*, sont scellées par leurs extrémités dans les murs en retour, et soutenues en différents points de leur longueur par des corbeaux en fer fixés dans les murs qu'elles longent. Quand on veut que les lambourdes jouissent d'une plus grande solidité, on les encastre d'environ la moitié de leur largeur dans les murs qu'elles longent. Lorsque l'assemblage des solives aux lambourdes a besoin d'une grande solidité, on le fait à queue d'aronde à recouvrement, en donnant au recouvrement environ le 1/3 de la dimension verticale de la solive, et les 2/3 à la queue d'aronde. Suivant la largeur de la lambourde, en divisant cette largeur en quatre parties égales, la partie le long du mur n'est pas entaillée, la queue d'aronde occupe les deux parties du milieu; et l'autre partie porte une entaille de la largeur de la solive. Comme, par ce dernier mode d'assemblage, la lambourde fait saillie au-dessous des solives, on y fixe la corniche du plafond.

La dimension verticale des solives ordinaires étant 1, la même dimension des lambourdes serait 1,5 et leur dimension horizontale 1. Ainsi, pour une pièce de 4^m,55 dans œuvre, les solives ayant 0^m,19 de hauteur, on donnerait aux lambourdes 0^m,285 de hauteur sur 0^m,19 de largeur.

Lorsque les solives doivent avoir des longueurs trop grandes, on

a recours aux poutres. Dans les constructions grossières, on repose simplement les solives sur les poutres, qui, alors, font saillie de toute leur hauteur sous la face inférieure des solives. Dans le cas où l'on veut établir un plafond et cacher les poutres, on est obligé de placer de petites pièces de remplissage en bois, au niveau de la face inférieure des poutres, pour y clouer les lattes du plafond. Afin de diminuer l'épaisseur considérable de plancher qu'entraîne cette disposition, il convient d'appliquer contre chaque face latérale de la poutre une lambourde qui effleure sa face inférieure, et de fixer les solives à ces lambourdes, comme il a été indiqué plus haut pour le cas où les lambourdes sont appliquées contre les murs. Les lambourdes sont scellées dans les murs, et soutenues de distance en distance par des étriers communs aux deux lambourdes, et mis à cheval sur la poutre. Quelquefois encore, la poutre elle-même fait l'office de lambourde; mais, afin que ses faces latérales soient inclinées sans enlever le bois, on donne, dans toute la longueur de la pièce de bois, un trait de scie incliné à ses faces supérieure et inférieure, et on place les deux lambourdes qui en résultent l'une à côté de l'autre, en les réunissant par quelques boulons.

On peut encore faire, à l'aide seulement de pièces d'une faible longueur, des planchers d'une grande étendue, en disposant ces pièces de manière qu'elles reposent les unes sur deux murs, en des points voisins d'un même angle, les autres sur un mur par une extrémité et sur une pièce par l'autre, et les autres sur une pièce par chaque extrémité. On conçoit que ces charpentes demandent à être faites avec beaucoup de soin, et que le système reposant sur quelques tenons, on peut considérer la solidité comme problématique si on ne met pas un étrier en fer à chaque tenon.

D'après Rondelet, on doit donner à chaque solive des planchers de maisons d'habitation $\frac{1}{24}$ de leur longueur quand elles sont espacées tant vide que plein, et plus quand l'écartement augmente. La largeur des solives ne doit pas être moindre que la moitié de la hauteur (163), à moins qu'on ne place des fourrures ou des liernes pour les empêcher de gauchir. Quant aux poutres, il conseille de leur donner pour équarrissage $\frac{1}{18}$ de leur portée, quand elles sont espacées de 3^m à 3^m,50; ce qui se rapproche assez des dimen-

sions que donnerait la formule $\frac{pL^2}{8} = \frac{Rbh^2}{6}$ du n° 168, dans laquelle p , charge par mètre de longueur de la pièce, doit être calculée à raison de 200 kilogrammes par mètre carré de surface; car une poutre peut se trouver instantanément chargée d'un tel poids quand il y a un grand nombre de personnes en mouvement dans la pièce qu'elle supporte; $R = 600\ 000$ (n° 163), et $b = h$, car les poutres ont ordinairement une section transversale carrée, afin de ne pas les affaiblir en coupant les fibres pour les rendre mi-plates.

Le tableau suivant donne les dimensions des poutres et des solives de planchers d'après Bullet, et rapportées par M. Emy, comme étant aujourd'hui en usage dans les bâtisses ordinaires.

POUTRES.			SOLIVES DE BRIN.			SOLIVES DE SCIAGE.			
Long.	Équarrissage.		Long.	Équarrissage.	Écart.	Longueur.	Équarrissage.		Écart.
m.	m.	m.				m.	m.	m.	m.
3,90	0.27 sur 0.32								
4,87	0.30	0.36							
5,85	0.33	0.40							
6,82	0.35	0.44	de						
7,80	0.37	0.48	2.92			m.	m.	m.	
8,77	0.41	0.51				4.87	0.16 sur 0.22		
9,75	0.43	0.56				5.85	0.22	0.25	
10,72	0.46	0.59	à	m.	m.	m.	m.	m.	m.
11,70	0.49	0.62		0.14 sur 0.19	0,16	7,80 à 8,12	0.24	0.27	0.22
12,68	0.51	0.65							
13,64	0.54	0.68		m.		8,77	0.27	0.30	
				4.87					

Pour les poitrails de boutiques (460), on est dans l'usage de refendre en deux les pièces de bois qui servent à les former, d'en écarter les deux parties de 0^m,05 à 0^m,06 par des fourrures, et de les relier par des boulons. Cet excès de largeur que l'on donne aux poitrails, fait qu'il est plus facile d'y faire reposer les murs; de plus, le bois ainsi refendu perd facilement son humidité

naturelle, qu'il aurait conservée en partie sans cette précaution, ce qui en aurait accéléré la pourriture.

Il y a encore un cas où on refend une poutre ; c'est celui où, ne disposant pas de bois d'une assez forte dimension, on est obligé d'avoir recours aux poutres armées. Dans ce cas, on refend la pièce de bois, et on en écarte les deux parties, entre lesquelles on place deux pièces de bois qui forment un triangle isocèle dont la poutre est la base ; la hauteur de ce triangle est faible, afin que le dessus des armatures ne dépasse pas le dessus des lambourdes sur lesquelles repose l'aire en plâtre et le parquet. Un boulon, allant du sommet du triangle au milieu de sa base, rend tout le système solidaire, et lui donne une grande rigidité.

Pour les édifices tels que les magasins à blé, entrepôts, etc., il est impossible de donner une règle empirique pour déterminer les dimensions des poutres, solives et autres pièces des planchers ; on est obligé d'avoir recours aux formules relatives à la résistance des matériaux (nos 163 et suivants).

464. *Pose du carrelage ou du parquet, et plafond.* Pour terminer le plancher, si on laisse les solives apparentes, ce que l'on peut faire dans un atelier, par exemple, on place dessus des recoupes de débris de bois, appelées *bardeaux*, ou, pour plus d'économie, des lattes jointives ; sur ces bardeaux ou sur ce lattis, on applique une couche de plâtre de 0^m,081 d'épaisseur, qu'on laisse se raffermir ; puis on applique en dessous, entre les solives, une deuxième couche de plâtre, qui peut être moins épaisse que la couche supérieure sur laquelle on pose le carrelage.

Cette disposition ne peut convenir pour des lieux habités ; dans ce cas, on fait les planchers pleins ou creux. Pour ces premiers, qui transmettent le plus mal le bruit d'un étage à un autre, on commence par fixer un lattis sous les solives ; sur ce lattis, on fait, comme pour les pans de bois (460), un hourdis que l'on élève jusqu'au niveau de la face supérieure des solives ; sur la surface qui en résulte on étend une couche de plâtre, sur laquelle on établit le carrelage. Sous le lattis inférieur on fait un gobetage, puis un crépi, en appliquant le plâtre à l'aide de la taloche, puis l'enduit plus ou moins soigné qui doit terminer le plafond.

Au lieu d'un hourdis qui remplit complètement les vides laissés

entre les solives, on se contente quelquefois, après avoir fixé le lattis inférieur, de placer dessus, entre les solives, une couche plus ou moins épaisse de plâtre ; ces couches de plâtre, séparées entre elles par les solives, sont ce que l'on appelle des *augets* ; on en rend la surface concave, afin d'augmenter leur surface de contact avec les solives ; des petits clous de peu de valeur, que l'on nomme *rappointis*, implantés dans les solives à l'endroit des augets, augmentent l'adhérence de ceux-ci avec les solives. Ces augets ajoutent considérablement à la solidité des plafonds qui, sans cela, sont sujets à se fendiller et à se détacher du lattis. Une fois les augets terminés, on établit un lattis tant plein que vide sur les solives, et sur ce lattis on étale une couche de plâtre de 0^m,081 d'épaisseur pour y reposer le carrelage.

Quand on ne craint pas que le bruit d'un étage se fasse trop entendre à l'étage inférieur, on fait le plancher creux, c'est-à-dire qu'on supprime le hourdis et les augets entre les solives ; les lattis inférieur et supérieur sont tant plein que vide ; sous le lattis inférieur on établit le plafond, et sur celui supérieur la couche de plâtre sur laquelle repose le carrelage.

Quand au lieu d'un carrelage on veut établir un parquet, si les solives sont toutes de niveau à leur partie supérieure, on peut faire reposer directement le parquet sur les solives ; mais généralement on établit une couche de plâtre de 0^m,055 sur le lattis supérieur ; sur cette couche de plâtre on place des *lambourdes*, pièces de bois de 0^m,067 de hauteur sur 0^m,05 de largeur, et c'est sur ces lambourdes que l'on repose le parquet ; on remplit les vides entre les lambourdes par une matière sèche. Quelquefois on repose directement les lambourdes sur le lattis et on se contente de les relier par des augets en plâtre reposant sur le lattis.

ENDUITS.

465. *Enduits.* Dans les intérieurs, les enduits se font en plâtre comme les plafonds (464). Les enduits en mortier, lorsqu'ils ne doivent pas résister à l'eau, sont faits de mortier fin étendu à la truelle, et dressé avec une taloche de 0^m,15 sur 0^m,20 (459) ; ordinairement, on se contente du poli grossier que laisse la taloche. Pour les enduits de bassins exposés à la gelée, on dresse d'abord la sur-

face avec le tranchant de la truelle, et quand le mortier a pris consistance, on passe la surface à la truelle brételée (459).

Les bassins qui doivent contenir l'eau sans que celle-ci s'infiltré à travers la maçonnerie doivent être revêtus d'un enduit en mortier de chaux hydraulique ou de ciment romain. Pour que les enduits adhèrent bien aux murs, on dégrade ceux-ci en en refouillant les joints, et en projetant de l'eau avec une pompe foulante, sur toute leur surface, afin d'enlever toute la poussière qui aurait diminué l'adhérence de l'enduit. Pour que les enduits résistent bien à la gelée, il faut qu'ils soient faits dans les mois de mars, avril ou mai; lorsqu'on les exécute plus tard, il convient de couvrir les murs avant l'hiver, afin de préserver les mortiers de la gelée, précaution à prendre pour toute espèce de construction.

Le sable doit être fin, et la chaux ou le ciment en quantité suffisante pour remplir tous les petits vides qui séparent ses grains, sans quoi le mortier serait poreux (443); aussi, convient-il d'augmenter la quantité de chaux à mesure que la charge d'eau est plus considérable. Pour le ciment romain, on emploie de une à deux parties de sable pour une de ciment; il convient que le sable soit mélangé sec avec le ciment avant d'y ajouter la quantité d'eau convenable pour les réduire en pâte.

Comme ces enduits se fixent mal entre eux, il faut les faire d'un seul coup; on fait le mortier ferme, et, avec la truelle, on le projette avec force contre le mur; le tranchant de la truelle sert à unir la surface; on peut l'unir avec le plat de la truelle, mais la couche lisse se fendille par les effets de la dilatation; si on veut un poli plus parfait, il convient d'appliquer une autre couche avec une brosse grossière.

466. *Corniches d'appartement et moulures de lambris.* Pour faire une corniche intérieure, on commence par former à la place qu'elle doit occuper une masse de plâtre dont la saillie soit un peu moindre que celle de la corniche; des rappointis assurent la fixité de cette masse; puis on fixe une règle bien droite contre le mur, au bas de la corniche et parallèlement à cette corniche. Cela fait, on applique une couche convenable de plâtre clair contre la masse solide; c'est avec cette couche de plâtre mou que l'on fait les mou-

lures de la corniche, en passant dessus, à plusieurs reprises, un calibre en tôle ou en bois dont le pourtour est taillé suivant les formes des moulures. Afin que ce calibre soit bien guidé pendant la traîne de la corniche, on le fixe par une entaille sur le milieu d'une règle qui porte un angle rentrant; un bâton oblique, dont une extrémité se fixe dans le calibre et l'autre dans la règle, donne une certaine solidité à leur ensemble. Par cette disposition, en faisant glisser le calibre sur la couche de plâtre, de manière que l'angle rentrant de sa règle suive bien l'angle saillant de la règle fixée contre le mur, on est sûr d'obtenir une corniche bien droite.

On suit une marche semblable pour faire les moulures des lambris; une règle guide le calibre.

467. *Blanc en bourre.* Quand on n'a pas de plâtre, on fait usage, pour les plafonds et enduits, de *blanc en bourre*, mortier de terre argileuse et de 1/5 à 1/6 de chaux grasse, auquel on a mélangé de la bourre.

Cette matière est plus coûteuse que le plâtre, aussi ne doit-on l'employer qu'en couches minces. Pour les plafonds ou les cloisons, le lattis doit être jointif; on y applique une première couche de 7 à 9 millimètres d'épaisseur; quand elle est moitié sèche, on passe dessus un balai à demi-usé, afin d'en rendre la surface raboteuse, pour que la deuxième couche, qui n'a que 2 ou 3 millimètres d'épaisseur, y adhère bien. Pour la première couche on peut employer de la bourre de tanneur, mais pour la seconde on préfère la bourre provenant de la tonde des draps; cette dernière n'étant pas comme la première sujette à se mettre en flocons, elle ne gâte pas la surface de l'enduit.

Pour faire usage de la bourre, on commence par la battre avec des baguettes, afin d'en bien séparer toutes les fibres; puis on l'étend par couches sur le mortier, et on l'y mélange avec un rabot en bois.

Il faut éviter d'employer le blanc en bourre pendant les temps de gelée.

La chaux doit être éteinte depuis plusieurs mois, afin que l'on soit sûr qu'aucune particule n'a échappé à l'extinction; sans quoi, après la confection de l'enduit, le poli s'altérerait.

Pour employer le blanc en bourre, on fait usage d'une truelle très-allongée et flexible, et dont la côte qui fait le prolongement de queue est en dessus de la palette, afin qu'elle ne s'oppose pas au lissage des surfaces.

468. *Stucs.* Dans l'intérieur des appartements, on fait souvent usage d'un marbre artificiel appelé stuc. On distingue le stuc en chaux et celui en plâtre.

1° *Stuc en chaux.* On fait un mortier avec de la chaux et du sable fin tamisé, et on le mélange avec soin jusqu'à ce qu'il ne reste plus de grumeaux. On fait un bassin sur une palette, avec une certaine quantité de ce mortier; on y verse une certaine quantité d'eau, sur laquelle on sème avec la main une quantité de plâtre nécessaire pour l'absorber; alors, on se hâte de faire le mélange du plâtre gâché et du mortier, afin de l'employer le plus promptement possible. Ce mélange, qui contient deux de plâtre gâché pour un de mortier, sert à former la masse des corniches et moulures, ou la couche intérieure des enduits pleins. Pour les dernières couches de l'ébauche, la quantité de plâtre gâché n'est plus que de un pour trois de mortier.

La masse étant ainsi formée, on la laisse sécher jusqu'à ce qu'elle ne contienne plus d'humidité à l'intérieur, avant de poser la dernière couche ou le stuc proprement dit. Cette dernière couche est faite d'un mélange de quantités égales de chaux et de marbre en poudre tamisée. La chaux doit être choisie morceau par morceau, afin d'éviter les incuits et les biscuits; on l'éteint par immersion (438), puis on l'écrase sur un marbre avec une molette, comme on le fait pour la peinture. Après quatre ou cinq mois d'extinction, on mêle cette chaux avec la poudre de marbre, sans y ajouter d'eau, et on broie jusqu'à ce que le mélange soit parfait.

Une fois que l'on a préparé une certaine quantité de cette pâte, on mouille l'ébauche jusqu'à ce qu'elle n'absorbe plus d'eau, et, avec un pinceau, on applique dessus un peu de stuc, que l'on a délayé dans un vase; alors, au moyen d'une spatule, on commence à appliquer une couche de stuc dur; à mesure que cette couche commence à sécher, on termine ses formes et on lui donne le poli avec des ébauchoirs en acier et du linge mouillé enveloppé autour du doigt ou même avec le doigt seul.

Le stuc à la chaux peut s'employer à l'extérieur comme à l'intérieur; seulement, dans le premier cas, l'ébauche ou les couches inférieures doivent être faites entièrement au mortier de chaux hydraulique.

2° *Stuc en plâtre.* Pour que ce stuc soit beau, le stucateur choisit le meilleur et le plus blanc sulfate de chaux, il le casse en morceaux de la grosseur d'un œuf, et il le cuit lui-même, en mettant tous les morceaux dans un four ordinaire très-chaud et dont il ferme hermétiquement l'ouverture. Pour vérifier le degré de cuisson du plâtre, de temps en temps il en retire quelques morceaux du four pour les briser; si la cassure présente beaucoup de points brillants, c'est que le plâtre n'est pas assez cuit; s'il ne reste que quelques points brillants, c'est qu'il est convenablement cuit; enfin si tous les points brillants ont disparu, et que la cassure soit partout d'un blanc mat, c'est que le plâtre est trop cuit. Le plâtre trop ou trop peu cuit ne doit pas être employé à la préparation du stuc.

Pour employer le plâtre, le stucateur le broie dans un mortier en fonte, et le passe au tamis de soie très-fin; il le gâche dans une eau où l'on a fait fondre une quantité de colle de Flandre suffisante pour que la dissolution ne soit ni trop claire, ni trop épaisse; l'expérience guide pour le degré de force qu'on doit lui donner pour chaque espèce de plâtre. La colle de Flandre pourrait être remplacée par d'autres matières gélatineuses. Le plâtre, une fois gâché, se pose à la manière ordinaire. Si on veut donner au stuc un aspect de marbre veiné, on incruste dans la masse des veines faites avec du plâtre gâché coloré avec la couleur que l'on veut obtenir.

Quand le stuc est sec, on le passe d'abord à la pierre-ponce, puis à une pierre qui sert à donner le fil aux tranchants, ensuite au tripoli avec un morceau de feutre, et on lui donne le lustre en le frottant avec de l'eau de savon, et le fini avec de l'huile, que l'on frotte jusqu'à ce que le poli soit obtenu, sans quoi l'huile se ternirait. Avant de polir, il faut avoir soin de bien dresser les surfaces, surtout si elles sont grandes; car les flaches, qui deviennent plus sensibles par l'effet du poli, seraient d'un effet désagréable.

Le stuc en plâtre n'a de durée que dans les appartements ou autres lieux secs.

COMBLES.

469. *Combles.* C'est la construction que l'on fait pour préserver de la pluie les parties intérieures d'un édifice.

Quelquefois un comble est assez peu incliné pour qu'on puisse y marcher assez facilement, il prend alors le nom de *terrasse*.

Ordinairement un toit est formé de deux pans inclinés en sens contraire et se raccordant suivant une arête qui prend le nom de *faîte*.

Dans les édifices plus longs que larges, le faite est parallèle à la longueur, et chacun des plans dont se compose le toit prend le nom de *long-pan*. Quand les longs-pans du toit se terminent aux murs latéraux de l'édifice, ces murs prennent le nom de *pignons*. Si le toit se termine par des portions de toit qui s'appuient sur les longs-pans et sur les murs latéraux, ces plans inclinés s'appellent *croupes*. Quand l'édifice est carré, les longs-pans et les croupes sont égaux et viennent se terminer à un sommet commun; on a alors un toit en *pavillon*.

Quand on veut faire des logements dans les combles, les pans du toit sont formés de deux parties; une partie inférieure se rapprochant beaucoup de la verticale et dans laquelle on pratique les fenêtres des appartements, et une partie supérieure plus inclinée, et s'appuyant sur la première et sur le faite; ce sont les combles à la *mansarde*.

Quelquefois le comble est composé d'une seule pente, et prend le nom d'*appentis*, nom qui s'étend à tout l'édifice, si cet édifice reste ouvert, ou si le comble n'est soutenu que par des poteaux ou des pilastres. Le faite d'un appentis est généralement adossé à un des murs d'un édifice plus élevé.

470. *Fermes.* Comme les matériaux employés pour la couverture sont en petits échantillons et très-minces, pour les soutenir, on construit, tous les trois à quatre mètres, des assemblages solides, appelés *fermes*, dirigés suivant la largeur de l'édifice. Ces fermes sont quelquefois en maçonnerie, d'autres fois en fer et fonte, d'autres fois en fer et bois, mais généralement elles sont en bois.

On doit toujours placer les fermes à l'aplomb des trumeaux, c'est-à-dire, des parties pleines qui séparent les portes et croisées de l'édifice.

471. *Noms des différentes pièces qui entrent dans la composition d'une ferme.*

Figure 9, planche III.

- a* *entrait* ou *tirant*, pièce recevant les assemblages des arbalétriers, et celui du poinçon, quand il n'y a pas d'entrait retroussé;
- b* *entrait retroussé*, il reçoit l'assemblage du poinçon et empêche les arbalétriers de fléchir sous leur charge;
- c* *arbalétrier*;
- d* *poinçon*;
- e* *contre-fiche*;
- ff* *jambettes*;
- g* *aiselier*;
- h* *faîte*;
- h'* *lien* de faite, petite jambe de force empêchant tout mouvement du poinçon par rapport au faite;
- h''* *lierne*, pièce destinée à relier les fermes entre elles;
- ii* *pannes*, leur distance varie de 2^m,00 à 2^m,30; la panne qui se trouve à l'angle de deux parties qui composent un même pan de toit à la mansarde prend le nom de *panne de brisis*;
- kk* *tasseaux*; quelquefois, entre le tasseau et la panne, on place un coussinet en bois, qui prend le nom de tasseau; alors, le tasseau prend le nom de *chantignole*;
- l* *sablère*;
- m* *blochet*;
- n* *chevron*, pièce de 9 à 11 centimètres d'équarrissage; ces pièces sont éloignées entre elles de 0^m,40 à 0^m,45; elles supportent la volige ou le lattis sur lequel on pose la couverture proprement dite;
- o* *Coyau*;

On appelle *chanlate*, une pièce de bois, dont la section est un triangle rectangle, qu'on place au pied des chevrons pour recevoir un égout pendant.

472. *Dimensions des différentes pièces d'une ferme.* C'est toujours avec le plus grand soin qu'un ingénieur doit étudier les fermes des combles; par une heureuse disposition, il peut diminuer les dimensions des pièces qui les composent, et par suite en diminuer le prix et le poids, tout en obtenant une rigidité plus grande, ce qui n'ajoute pas peu à la solidité des murs (n° 394, page 470).

TABEAU des équarrissages, en centimètres, des différentes pièces qui composent les fermes de diverses formes et de différentes portées (extrait du Cours de construction de l'école de Metz). La disposition 27/24, par exemple, indique que la section de la pièce a 27 centimètres pour la dimension perpendiculaire à la dimension horizontale, et 24 centimètres pour cette dernière.

DÉSIGNATION des fermes.	Largeur du bâtiment dans l'entretoiture.	Tirant ne portant pas de plancher.	Le tirant portant un plancher.	Entretoiture.	Jambes de force.	Arbalétriers.	Poinçon.	Contre-lattes et jambelles.	Misseliers.	Valle.	Liens de falte.	Pannes, tasseaux et chautignoles.	Liernes.	Sablères.	Blochers.	Chevrans.	Coyaux.	Chanlats.
Ferme simple. . .	6 ^m	27/24	32/27	»	»	22/19	19/19	16/16	»	19/16	15/15	19/19	»	12/23	»	9/9	8/7	16/3
Ferme à entretoiture et arbalétrier allant du faite au tirant.	12	40/36	47/37	»	»	32/30	30/30	21/21	»	22/19	17/17	22/22	»	16/28	»	11/11	10/9	20/5
Ferme avec entretoiture retroussée et jambelle forcée.	6	»	42/30	24/19	»	22/19	19/19	15/15	19/15	19/16	15/15	19/19	»	12/23	»	9/9	8/7	16/3
Ferme retroussée et jambelle forcée.	9	»	52/37	27/24	»	26/24	24/24	18/18	24/18	20/17	16/16	20/20	»	14/25	»	10/10	9/8	18/4
Ferme pour courbe à la man-sarde.	12	»	63/45	33/30	»	32/30	30/30	22/22	30/22	22/19	17/17	22/22	»	16/28	»	11/11	10/9	20/5
	6	»	42/30	21/19	24/19	18/15	15/15	14/14	19/15	19/16	15/15	19/19	19/19	12/23	18/14	9/9	8/7	16/3
	9	»	52/37	27/24	29/24	22/18	18/18	16/16	24/18	20/17	16/16	20/20	20/20	14/25	20/15	10/10	9/8	18/4
	12	»	63/45	33/30	35/30	27/22	22/22	18/18	30/22	22/19	17/17	22/22	22/22	16/28	22/16	11/10	10/9	20/5
	6	»	42/30	23/20	22/20	20/18	18/18	14/14	20/13	19/16	15/15	19/19	20/20	12/23	18/14	9/9	8/7	16/3
	9	»	52/37	30/27	29/27	25/23	23/23	16/16	27/18	20/17	16/16	20/20	21/21	14/25	20/15	10/10	9/8	18/4
	12	»	63/45	36/33	34/33	30/28	28/28	18/18	33/22	22/19	17/17	22/22	23/23	16/28	22/16	11/11	10/9	20/5

Avec le chêne et le sapin, qu'on emploie généralement, il ne convient pas d'augmenter les dimensions consignées au tableau précédent, et, en soignant bien les assemblages et en disposant convenablement les pièces, on peut les diminuer.

Pour un appentis, les dimensions des différentes pièces seraient à peu près les mêmes que pour une ferme complète d'une portée double. La figure 10, planche III, indique une disposition à adopter.

Dans les dispositions de fermes dont il vient d'être question, on est obligé d'avoir recours à un tirant pour contre-butler la poussée des arbalétriers sur les murs, poussée qui est d'autant plus grande que le toit est plus surbaissé et que sa portée est plus grande. Comme il y a des circonstances où l'entrait qui traverse l'édifice dans toute sa largeur serait embarrassant, on fait alors quelquefois usage du système de charpente publié par Philibert Delorme, en 1561. Dans ce système il n'y a pas de ferme proprement dite, ou plutôt chaque chevron est une espèce de ferme circulaire formée par deux cours de bouts de planches placés de champ l'un à côté de l'autre, de manière que les joints de chaque cours correspondent au milieu des bouts qui composent l'autre cours. Des liernes en bois, qui traversent les fermes au milieu de leur largeur, servent, par le moyen d'une clavette en bois placée sur chaque face de la ferme et traversant les liernes, à relier toutes les fermes entre elles; ces clavettes ont encore l'avantage de joindre entre eux les deux cours de bouts de planches qui forment chaque ferme, ce que l'on fait encore par des chevilles en bois de chêne de 0^m,01 à 0^m,02 de diamètre, ou, ce qui est plus facile, par des clous d'épingles. On a soin de placer une lierne à l'extrémité de chaque bout de planche, et de manière que moitié de sa hauteur se trouve entaillée dans un bout et l'autre moitié dans le bout en contact, de manière à joindre les deux bouts d'un même cours comme par un tenon. Les bouts de planches ont de 1^m,30 à 1^m,40 de longueur, et, d'après Philibert Delorme, leur section transversale doit être de

m.	sur	m.	pour une portée de	m.
0,216		0,027		8,00
0,27		0,04	<i>id.</i>	11,50
0,35		0,054	<i>id.</i>	13,50
0,35		0,067	<i>id.</i>	29,00

L'écartement des fermes est de 0^m,65 environ d'axe en axe.

Le côté intérieur des planches reste droit, mais le côté extérieur s'arrondit légèrement afin que leur ensemble fasse un arc continu.

Pour établir ces combles, on forme au-dessus et à l'intérieur des murs une retraite, dans laquelle on établit une sablière en bois de 0^m,22 à 0^m,25 d'épaisseur sur une largeur égale à celle des planches. On tient la surface supérieure de cette sablière un peu au-dessous du haut de la corniche, et on y pratique des mortaises pour recevoir des tenons faits dans les bouts des fermes. Des coyaux en planches raccordent les fermes avec la saillie de la corniche. Une fois les fermes posées, on place dessus des planches que l'on y fixe et que l'on relie entre elles. Ces planches peuvent, au besoin, dispenser d'employer les liernes dont il a été question; mais alors on doit réunir les cours de bouts de planches de chaque ferme avec des pointes, ou des chevilles de 0^m,02; les chevilles présentant une plus grande surface que les pointes, se prêtent moins au glissement des deux cours l'un sur l'autre.

Plusieurs constructeurs et ingénieurs sont arrivés depuis quelques années à supprimer le tirant, au moyen de fermes curvilignes de toutes portées, composées de planches ou de madriers équarris disposés de différentes manières. Une des plus remarquables dispositions est celle due à M. Emy (n° 473, page 573).

473. *Calcul des dimensions des différentes pièces d'une ferme.* En étudiant avec attention de quelle manière les efforts se transmettent sur les différentes pièces d'une charpente, on peut calculer très-approximativement les dimensions qu'il convient de leur donner. Pour donner une idée de ce genre de calcul, considérons :

1° Une ferme composée seulement de deux arbalétriers et d'un entrait, figure 11, planche III. Soit :

N la réaction horizontale de chacun des arbalétriers sur l'extrémité de l'autre ;

P le poids de chaque arbalétrier et de sa charge ; P est réparti uniformément sur toute la longueur de l'arbalétrier ;

l la demi-portée de la ferme ;

m la hauteur de la ferme ;

$n = \sqrt{l^2 + m^2}$ la longueur de l'arbalétrier ;

α l'angle que font les arbalétriers avec l'entrait.

Il faut d'abord, pour que le système se maintienne en équilibre,

que, pour chacun des arbalétriers, les forces P et N, qui tendent à les faire tourner autour des points A ou C, se fassent équilibre autour de ces points, et que l'on ait par conséquent :

$$N \times m = P \times \frac{l}{2}, \quad \text{d'où} \quad N = P \frac{l}{2m}.$$

L'arbalétrier AB est sollicité par compression, dans le sens de la longueur de ses fibres, par la résultante Q des deux forces N et $\frac{P}{2}$ appliquées au point B. On a

$$Q : \frac{P}{2} :: n : m, \quad \text{d'où} \quad Q = P \frac{n}{2m}.$$

Ayant Q, à l'aide de ce qui a été dit (160), on déterminera les dimensions à donner à l'arbalétrier AB pour résister à cette force.

L'arbalétrier AB doit aussi résister à la composante $P \cos \alpha = P \frac{l}{n}$ du poids P, normale à l'arbalétrier et répartie uniformément sur toute sa longueur.

On aura donc, d'après ce qui a été dit n° 168, en remarquant que n y a été représentée par L et que $p = P \frac{l}{Ln}$,

$$P \frac{l}{n} \times \frac{n}{8} = \frac{Rbh^2}{6}, \quad \text{d'où} \quad bh^2 = \frac{3Pl}{4R}.$$

b, h et R ont les mêmes significations qu'au n° 163.

Nous avons vu (163), qu'il convenait de faire varier R entre 50 000 et 700 000. Faisant $R = 700 000$, cette valeur substituée dans l'équation précédente donne

$$bh^2 = 0,0000107 Pl.$$

M. Ardant (*Mémoire sur les combles*), donne la formule

$$bh^2 = P(0,00000111h + 0,0000107l).$$

Formule qui ne diffère de la précédente que par le terme en h, que M. Ardant introduit pour tenir compte de la compression due

à la force qui agit dans le sens des fibres, terme que l'on peut négliger près de celui en l .

L'entrait doit résister par traction à l'effort $N = P \frac{l}{2m}$, qui lui est transmis par les arbalétriers dans le sens de sa longueur; on doit donc avoir

$$P \frac{l}{2m} = bh \times 600\,000, \quad \text{d'où} \quad bh = 0,000\,000\,833 P \frac{l}{m}.$$

600 000 nombre de kilogrammes que peut supporter le chêne par mètre carré de section (159).

L'entrait tend à se rompre par flexion sous son propre poids; on doit donc avoir, pour qu'il résiste à cet effort, en appelant δ le poids du mètre cube de bois, et en remarquant que le poids est réparti uniformément sur toute la longueur (168),

$$\frac{\delta bh \times 4l^2}{8} = \frac{R\delta h^3}{6}, \quad \text{d'où} \quad \delta h = \frac{3\delta bl^2}{R};$$

Faisant $R = 700\,000$ (n° 163), on a

$$\delta h = 0,00000429 \delta bl^2$$

Ajoutant cette valeur à la précédente, afin que l'on soit sûr que la section de l'entrait sera suffisante pour résister simultanément aux efforts de traction et de flexion, on aura en définitif

$$bh = 0,000000833 P \frac{l}{m} + 0,00000429 \delta bl^2.$$

Quand le tirant est en fer, il doit en outre résister au retrait résultant de la diminution de température. Or, le fer se contractant de 0,0000122 de sa longueur par degré centigrade de refroidissement (191), comme il faut 12,205,000 kilog. pour allonger une pièce de fer de 1 mètre carré de section des 0,00066 de sa longueur primitive (159), il en résulte que pour chaque degré centigrade de diminution de température, un tirant dont la section est A produira sur chacune de ses extrémités, en tendant à se raccourcir, une traction égale à

$$A \frac{0,0000122}{0,00066} \times 12205000 = A \times 225608 \text{ kilog.}$$

Et si la température passe de t à t' , la traction du tirant sur ses points fixes sera

$$A \times 225608 (t - t').$$

Supposant que le fer employé résiste à un effort permanent de 10,000,000 kilog. par mètre carré de section (159), on devra donc avoir, pour que le tirant résiste à la poussée $N = P \frac{l}{2m}$ des arbalétriers et à l'effet de la contraction,

$$10000000 \times A = P \frac{l}{2m} + A \times 225608 (t - t'),$$

d'où l'on tire

$$A = \frac{P \frac{l}{2m}}{10000000 - 225608 (t - t')}.$$

2° Pour une ferme à tirant et faux entrait, comme l'indique la figure 12, planche III, on calculera les dimensions à donner à la partie supérieure AB de l'arbalétrier de la même manière que dans le cas précédent, c'est-à-dire comme si la partie ABC reposait sur des murs en B et C. Quant à la partie inférieure BD, on la calculera pour résister par flexion à la composante, normale à sa direction, de la charge comprise entre B et D (1°), et pour résister par compression suivant ses fibres, à une force que l'on déterminera de cette manière: la moitié du poids de la partie supérieure ABC est portée par le point B; de plus, le poids de la partie BD se décompose en deux parties égales, l'une appliquée au point D et qui repose directement sur le mur, l'autre appliquée au point B et qui s'ajoute à la moitié du poids de la partie supérieure ABC pour produire une charge verticale p . Le point B est sollicité non-seulement par p , mais aussi par la réaction du faux entrait, et comme il y a équilibre, ces deux forces donnent une résultante BF dirigée suivant BD, et à laquelle cette pièce devra résister par compression. De la proportion

$$BF : Bp = p :: n : m, \quad \text{on conclut} \quad BF = p \frac{n}{m}.$$

Ayant la composante BF, on calculera les dimensions de BD d'après ce qui a été dit (160).

Le faux entrain ne résiste que quand AD fléchit ; mais il convient de le calculer pour résister par compression à la composante BG ; remarquant que l'on a $BG = pF$, il en résulte que l'on peut poser

$$BG : Bp = p :: l : m, \text{ d'où } BG = p \frac{l}{m}.$$

Ayant BG, on calculera les dimensions du faux entrain CB, d'après ce qui a été dit n° 160.

Quant au tirant, le faux entrain agissant par compression, on doit le calculer comme si cette pièce n'existait pas (1°).

3° Pour un comble retroussé, figure 13, planche III, il est évident que si l'arbalétrier doit se briser, ce sera au point B ; c'est donc pour ce point qu'il faut calculer les dimensions à lui donner. Or remarquons que la réaction verticale DP du mur, sous l'extrémité de l'arbalétrier, est égale au poids total P du pan AD, et que P se décompose en deux forces, l'une DF dirigée suivant DB pour comprimer cette pièce suivant la longueur de ses fibres, et l'autre DE perpendiculaire à BD, qui agit avec un bras de levier $BD = n'$ pour rompre cette pièce en B ; remarquant que les triangles semblables DEP et ADK donnent

$$DE : DP = P :: l : n, \text{ on en conclut } DE = P \frac{l}{n}.$$

On calculera alors les dimensions à donner à l'arbalétrier au point B, à l'aide de la formule

$$P \frac{ln'}{n} = \frac{Rbh^2}{6}, \text{ d'où } bh^2 = \frac{6Pln'}{Rn}. \quad (163)$$

Faisant $R = 600\,000$, cette formule devient

$$bh^2 = 0,00001 \frac{Pln'}{n}.$$

La force verticale P, appliquée au point D, tend à faire tourner l'arbalétrier autour du point A avec le bras de levier l, et comme la traction T de l'entrain CB s'oppose à ce mouvement avec un

bras de levier m' , puisqu'il y a équilibre entre ces deux forces, on a

$$Pl = Tm', \text{ d'où } T = \frac{Pl}{m'}.$$

Ayant T, on déterminera les dimensions à donner à CB, d'après ce qui a été dit ci-dessus (1°) (159).

4° Pour des combles retroussés supportés par des poteaux réunis aux arbalétriers par des aisseliers, figure 14, planche III, M. Ardant donne les formules suivantes pour calculer les dimensions des arbalétriers et des poteaux.

INCLINAISON DU TOIT.		ARBALÉTRIERS.	POTEAUX.
2 de base pour 1 de h.		$bh^2 = 0.000001038Pl$	$bh^2 = 0.00000225Pl$
3	2	$bh^2 = 0.000001041Pl$	$bh^2 = 0.00000201Pl$
1	1	$bh^2 = 0.000001049Pl$	$bh^2 = 0.00000156Pl$

Ces formules, dans lesquelles P est le poids d'un des pans du toit et l la demi-ouverture, ont été données pour des fermes formant des polygones circonscrits à des cercles.

5° Les fermes du système de M. Émy sont composées d'une ferme de pièces droites, comme la précédente planche III, figure 14, mais reliée par des moises pendantes à une ferme intérieure en arc de cercle et formée de madriers posés à plat l'un sur l'autre. Des expériences de M. Ardant sur ce genre de fermes, il résulte que la ferme droite porte à peu près les 2/3 du poids du toit, et que l'arc porte l'autre tiers ; il conviendra donc de calculer les dimensions de la ferme droite à l'aide des formules précédentes (4°), dans lesquelles on fera P égal aux 2/3 du pan du toit. Quant aux dimensions de l'arc, on se servira des formules suivantes, dues à M. Ardant.

MODE de répartition de la charge.	POUSSÉE au niveau des nais- sances.	ÉQUARRISSAGE, EN MÈTRES, DES ARCS	
		dont la section est rectangulaire.	dont la section est circulaire.
Uniformément sur la circonférence. . . .	0.16P	$bh^2 = \frac{P}{R} (0.599h + 0.27l)$	$r^3 = \frac{P}{R} (0.124r + 0.062l)$
Uniformément par rapport à l'horiz- ontale.	0.22P	$bh^2 = \frac{P}{R} (0.680h + 0.25l)$	$r^3 = \frac{P}{R} (0.200r + 0.044l)$
Suspendue au som- met.	0.32P	$bh^2 = \frac{P}{R} (0.597h + 0.55l)$	$r^3 = \frac{P}{R} (0.200r + 0.212l)$

- P poids porté par l'arc entier : ce sera donc le 1/3 du poids total du toit, pour une ferme du système de M. Émy ;
 l rayon moyen de l'arc ;
 R coefficient qu'il convient de faire égal à 300 000, pour des pièces de bois formées de plusieurs morceaux disposés comme dans le système de M. Emy (163).

Nous avons vu dans les examens précédents que les poinçons et les tirants agissent par fraction ; il convient donc, afin de diminuer la dépense et le poids du toit, de les faire en fer, c'est ce que l'on fait souvent.

Les arbalétriers et les faux entrants agissant par flexion et par compression, doivent être en bois.

474. *Poids et inclinaison des toits.* Il nous reste, pour pouvoir calculer les dimensions des différentes pièces d'une ferme, à évaluer le poids P (n° 473). Ce poids se compose du poids de la couverture, du poids du bois qui entre dans la charpente, du poids de la neige qui peut se déposer sur le toit et de la pression du vent.

M. Ardant donne les résultats suivants pour les couvertures les plus usitées.

NATURE DE LA COUVERTURE.	INCLINAISON du toit sur l'horizon.	POIDS du mètre carré de couverture.	CUBE DE BOIS par mètre carré.
Tuiles plates à crochet. . . .	45° à 33°	k. 60	m.c. 0.063
Tuiles creuses, posées à sec.	27 à 21	75 à 90	0.058
<i>id.</i> maçonnées.	31 à 27	136	0.068
Ardoise.	45 à 33	38	0.056
Cuivre en feuilles.	21 à 18	14	0.042
Zinc, n° 14.	21 à 18	8.50	0.042
Mastic bitumineux.	21 à 18	25	0.056

La neige pesant dix fois moins que l'eau, pour une couche maximum de 0^m,50, il faudrait compter sur un poids de 50 kilog. par mètre carré de couverture.

Quant à l'influence du vent, on s'en rendra compte à l'aide de ce qui a été dit n° 152, soit que l'on suppose que des rafales amènent le vent normalement aux pans du toit, soit que l'on suppose que le vent se meuve horizontalement et frappe le toit sous un certain angle.

475. *Couvertures des édifices.* Dans les pays où il pleut rarement et ne neige jamais, les toits sont peu inclinés ; en Égypte et en Syrie toutes les maisons sont couvertes en terrasse ; dans le midi de la France les toits ont une faible pente, dans nos climats la pente la plus ordinaire est de 1/3 de la largeur de l'édifice. Du reste, les matériaux employés à la couverture ont une grande influence sur cette pente. Ces matériaux sont la tuile, l'ardoise, le bardeau, le cuivre, le zinc, le plomb, le fer, la fonte de fer.

476. *Tuiles.* On a fabriqué des tuiles de plusieurs formes. A Paris on fait un usage fréquent de tuiles plates dites de Bourgogne, dont les dimensions sont variables ; celles du grand moule ont 0^m,31 sur 0^m,23 et 0^m,0157 d'épaisseur, il en faut 42 par mètre carré de surface de toiture ; celles du petit moule ont 0^m,257 de longueur, sur 0^m,183 de largeur et 0^m,014 d'épaisseur, il en faut 64 par mètre carré de toiture.

On pose les tuiles sur des lattes de 1^m,30 de longueur et de 0^m,067 d'épaisseur, espacées tant plein que vide si elles ont 0^m,05 à

0^m,06 de largeur; ces dimensions sont le plus souvent aujourd'hui réduites à 0^m,0034 d'épaisseur sur 0^m,041 à 0^m,045 de largeur, ce qui ne diminue pas peu la solidité de la toiture. On fixe les lattes avec des clous de 0^m,027 de longueur, et de 620 à 640 au kilogramme.

Les tuiles se posent par rangs horizontaux en commençant par le bas du toit. Les tuiles d'un rang couvrent aux deux tiers celles du rang inférieur; la partie qui reste découverte prend le nom de *pureau*. Le rang inférieur se pose sur mortier, et fait saillie de 0^m,11 sur la corniche; sur ce premier rang on en pose un second à joints croisés, qu'on nomme *doublis*. Quand il y a une corniche avec chaîneau, on pose ordinairement un rang simple de tuiles s'appuyant sur le chaîneau. Quand il n'y a pas de corniche, on la remplace par une chanlate sur laquelle on pose les tuiles comme sur la corniche (471).

Les tuiles creuses employées dans le midi de la France ont 0^m,40 de longueur, et 0^m,013 d'épaisseur; elles ont 0^m,20 de diamètre à un bout et 0^m,15 à l'autre ce qui les rend coniques.

La pente des combles couverts de ces tuiles ne doit pas excéder 26°, elle est ordinairement de 18° à 21°. Les rangs verticaux de tuiles présentant leur concavité sont espacés de 0^m,04, et les tuiles se recouvrent en longueur de 0^m,05 à 0^m,06; les intervalles compris entre ces premiers rangs se recouvrent par d'autres rangs présentant leur convexité.

Il y a les tuiles flamandes dites *tuiles pannes*; la figure 15, planche III, représente leur coupe transversale et la manière dont elles s'agrafent latéralement; elles se posent sur de grosses lattes bien dressées. Ces tuiles ont environ 0^m,35 de côté sur 0^m,016 d'épaisseur; il en faut 15 1/4 par mètre carré de toit.

Les tuiles romaines, qui s'agrafent mutuellement sur deux arêtes, et se posent de manière qu'une de leurs diagonales soit horizontale et l'autre dirigée suivant la pente du toit, viennent d'être ressuscitées par M. Gourlier; elles pèsent 45 kilog. le mètre carré.

Plusieurs personnes se sont occupées de la fabrication de ces tuiles, et en ont donné des modèles de différentes formes et grandeurs.

477. *Ardoises*. On en fait de trois modèles, qui ne diffèrent que par

leurs dimensions. Le grand modèle d'Angers a 0^m,298 sur 0^m,217, le moyen modèle de Charleville a 0^m,271 sur 0^m,189, et le petit modèle (cartelettes d'Angers), 0^m,217 sur 0^m,162. L'épaisseur commune à toutes les ardoises est de 0^m,0033; pour les cartelettes d'Angers elle n'est que de 0^m,0028. Le mille pèse 612 kilog. pour le grand modèle, 485 kilog. pour le modèle moyen, et 284 kilog. pour le petit. On enlève les angles de leur partie supérieure.

Les ardoises se recouvrent des 2/3 environ de leur longueur, le *pureau* n'est que de 1/3; ce grand recouvrement est dû à ce que la capillarité tend toujours à faire remonter l'eau entre les ardoises. La pente des toits varie entre 33° et 45°; avec une pente moindre, malgré le grand recouvrement, les voliges sur lesquelles on pose les ardoises sont sujettes à se mouiller, elles se pourrissent, les clous qui y fixent les ardoises n'y adhèrent plus et le vent peut enlever la couverture.

Les ardoises se posent sur des planches en bois blanc, ordinairement en sapin, de 0^m,011 d'épaisseur, non jointives et disposées, autant que possible, de manière que toutes leurs faces supérieures soient dans un même plan. Il faut 46 ardoises du grand modèle, 59 du moyen et 85 du petit pour couvrir un mètre carré de toit.

Comme pour les autres couvertures, on commence à poser les ardoises par l'égout, que l'on forme en superposant sur la chanlatte deux ou trois rangs d'ardoises, afin de donner assez de solidité à cette partie inférieure pour résister au vent. Les ardoises qui forment l'égout se posent ordinairement sur plâtre, en leur laissant faire saillie de 0^m,04 à 0^m,05 sur la chanlatte. Quand on a de bonnes tuiles, on les emploie à faire l'égout, que l'on fait alors saillir de 0^m,11 environ sur la chanlatte.

A partir de l'égout, les ardoises se placent par rangs horizontaux comme pour les tuiles plates (476).

Pour percer et clouer les ardoises, et tailler leurs bords, l'ouvrier se sert d'un marteau qui porte une pointe d'un côté, une tête étroite dirigée suivant la direction du manche de l'autre, et dont le manche est un tranchant en acier sur une certaine longueur; il se sert en outre d'une enclume qui n'est autre chose qu'une lame d'acier tranchante, portant vers le milieu de sa longueur une pointe en retour d'équerre. Il implante cette queue dans les voliges,

à côté de lui ; puis, appliquant l'ardoise sur l'enclume, en laissant dépasser ce qu'il veut couper, il trace, avec la pointe de son marteau qu'il fait glisser le long de l'enclume, une ligne apparente sur l'ardoise ; il retourne son ardoise, et faisant correspondre la ligne qu'il vient de tracer au tranchant de l'enclume, à l'aide du manche de son marteau qu'il applique obliquement le long de l'enclume, il frappe à petits coups sur l'ardoise pour en détacher la partie qui dépasse la ligne tracée. Pour percer l'ardoise, il applique le point voisin du trou sur l'enclume, et, d'un petit coup frappé avec la pointe de son marteau, il fait le trou. La tête du marteau lui sert à clouer les voliges et les ardoises. Les clous employés pour clouer les ardoises sont de 570 au kilogramme.

Dans les noues et sur les arêtiers, on fait usage de feuilles de métal, qui pénètrent sous les ardoises voisines dans le premier cas, et qui sont placées dessus dans le second.

Quand on calcule le prix d'une couverture, il faut calculer sa surface exacte, et ajouter $\frac{1}{5}$ environ en sus pour les sujétions d'égouts, de faîtes, etc.; cette addition est d'environ 1 fr. 20 par mètre carré de la surface du toit.

478. *Les bardeaux* sont des tuiles en bois de chêne et quelquefois de sapin ; ils ont $0^m,406$ de longueur, $0^m,135$ de largeur et $0^m,011$ d'épaisseur ; il en faut 55 pour couvrir un mètre carré de toit. On les dispose comme les ardoises. L'inclinaison du toit doit être de 45° au moins, afin que l'eau n'y séjourne pas.

479. *Plomb*. Les tables de plomb employées à la couverture ont $3^m,90$ de longueur sur $1^m,95$ de largeur, et $0^m,00338$ à $0^m,0045$ d'épaisseur. Le mètre carré de couverture en plomb de $0^m,00338$ pèse environ 40 kilogrammes, et 53 kilog. pour celui de $0^m,0045$ (28).

Le recouvrement des feuilles, dans le sens de la longueur, varie de $0^m,081$ à $0^m,162$; latéralement, les feuilles se relient entre-elles en les repliant de manière à former un ourlet. On les pose sur voliges ; pour cela, on commence par poser les chaîneux qui doivent régner au bas du comble, on rabat le dossier de ces chaîneux sur les voliges, et dessus on fixe, par des crochets espacés de $0^m,50$ les uns des autres, le bas des tables ; on déroule les planches en montant, et on les fixe avec de forts clous traversant jusqu'à une certaine profondeur dans les chevrons.

480. *Cuivre*. Les feuilles de cuivre ordinairement employées ont $1^m,407$ sur $1^m,137$, et $0^m,00068$ ou $0^m,00075$ d'épaisseur ; le poids du mètre carré est de $6^k,11$ avec les premières feuilles, et de $7^k,64$ avec les secondes. Le poids exprimé en livres donne le numéro des feuilles ; ainsi les dernières feuilles étant du n° 25, elles pèsent 25 livres ou $12^k,26$; l'épaisseur est de 4 points ou $0^m,00075$. Le recouvrement des feuilles est de $0^m,12$. Les joints se font comme pour les feuilles de zinc (482).

481. *Tôle de fer*. En Russie et en Suède, on emploie la tôle ; les feuilles ont $0^m,70$ sur $0^m,50$ et $0^m,00035$ d'épaisseur ; elles pèsent $3^k,08$, ce qui fait $8^k,80$ par mètre carré.

Depuis le zinguage de la tôle, on a fait quelques applications en France d'ardoises en tôle ayant subi cette opération.

Deux pavillons adjacents à la grille de l'Observatoire de Paris sont couverts en ardoises de fonte de fer.

482. *Zinc*. Les feuilles ont ordinairement $1^m,949$ de longueur sur $0^m,975$ de largeur. On en fabrique du n° 16 qui ont jusqu'à $5^m,85$ de longueur.

Numéros employés.	14	15	16	
Épaisseur respective en {	Points.	5	5 1/2	6
	Mètres.	$0^m,00094$	$0^m,00103$	$0^m,00113$
Poids du mètre carré.	$7^k,05$	$7^k,75$	$8^k,40$	

Les assemblages doivent permettre une dilatation facile dans tous les sens. Par le haut, les feuilles se fixent sur les voliges à l'aide de clous en zinc, le fer doit être proscrit, parce qu'il accélère l'oxydation ; par le bas, la feuille recouvre les clous qui fixent la feuille inférieure, à laquelle elle s'agrafe par des crochets que l'on a soudés sous sa face inférieure, comme l'indique la figure 16, planche III. Les crochets peuvent être simplement fixés par les clous de la feuille inférieure, ce qui dispense de les souder, figure 17.

Latéralement, les feuilles s'agrafent entre elles, soit par un simple ourlet, comme l'indique la figure 18 ; soit en redressant leurs bords que l'on applique contre un liteau en bois, et en recouvrant le tout d'un chapeau en zinc, figure 19 ; ou encore en faisant une double agrafe recouverte d'un chapeau, sans liteau, figure 20.

Depuis quelques années, on a fait usage d'ardoises en zinc, qui ont 0^m,35 à 0^m,40 sur 0^m,30 à 0^m,35 de largeur; elles ont la forme des tuiles pannes figure 15; elles se clouent par le haut sur les voliges, et s'agrafent par le bas aux ardoises inférieures à l'aide de deux crochets, comme l'indique la figure 16.

SIXIÈME PARTIE.

Routes. Ponts. Canaux.

ROUTES.

483. *Division des routes.* On appelle *route*, la partie du sol préparée pour faciliter les communications par terre, entre les divers points importants d'un pays. Lorsqu'elle a peu d'étendue, et que les points qu'elle relie sont peu importants, elle prend le nom de *chemin*.

Les routes se divisent en *routes royales*, qui sont construites et entretenues par l'État, et en *routes départementales*, qui sont établies et entretenues avec les fonds votés par les conseils généraux des départements.

Une route royale est dite de *première classe*, lorsqu'elle unit Paris à un État voisin ou à un port militaire; de *deuxième classe*, lorsqu'elle va de Paris à une des principales villes de France; et de *troisième classe*, lorsqu'elle établit une communication transversale s'étendant sur plusieurs départements.

Une route est dite *départementale*, lorsqu'elle unit les villes d'un même département ou de deux départements voisins.

Les chemins vicinaux sont des ramifications qui établissent la communication entre les routes et les différents villages qu'elles ne traversent pas. Il y a encore les chemins de culture, établis dans chaque commune pour faciliter le transport des engrais et des récoltes.

484. *Composition d'une route.* Une route se compose : 1^o de la *chaussée*, partie centrale consolidée pour résister à l'action destructive des pieds des chevaux et des roues des voitures; 2^o des

accotements, parties servant à consolider la chaussée de chaque côté, et destinées au passage des piétons, et même des voitures pendant la belle saison; 3° des fossés, destinés à donner écoulement aux eaux pluviales, ou même à les recueillir si les localités ne permettent pas de leur donner écoulement; on conçoit que, dans ce dernier cas, ils doivent être plus grands que dans le premier.

Dans le département de la Moselle, outre la chaussée de 6 mètres de largeur, les accotements, qui n'ont que 1 mètre de largeur chacun, et les fossés de 1^m,50, on a disposé entre un accotement et le fossé voisin un trottoir de 1^m,50 de largeur pour les piétons; ce trottoir est établi à 0^m,20 au-dessus de l'accotement, ce qui fait qu'il n'est jamais dégradé par les voitures. De l'autre côté de la route, on a disposé, entre l'accotement et le fossé, des emplacements de 3 mètres de largeur pour approvisionner les matériaux d'entretien.

Si la route, au lieu d'être en tranchée, est en remblai, on remplace les fossés par des talus, dont l'inclinaison est de 1,5 de base pour 1 de hauteur.

485. TABLEAU des dimensions des différentes parties des routes.

DÉSIGNATION des routes.	LARGEUR			
	de la chaussée. (a)	de chaque accotement.	de chaque fossé. (b)	totale, non compris les fossés. (c)
Routes royales des trois classes.	7 ^m ,00 à 5 ^m ,00	3 ^m ,50 à 2 ^m ,50	1 ^m ,50	14 ^m ,00 à 10 ^m ,00
Routes départemen- tales.	5 ^m ,00 4 ^m ,00	2 ^m ,50 2 ^m ,00	1 ^m ,50	10 ^m ,00 8 ^m ,00
Routes communales et vicinales.	8 ^m ,00 3 ^m ,00	2 ^m ,00 1 ^m ,50	1 ^m ,00	8 ^m ,00 6 ^m ,00

- (a) la largeur 5 mètres est un peu faible pour les routes royales;
 (b) la profondeur des fossés est ordinairement de 0^m,50;
 (c) près de Paris la largeur totale, non compris les fossés, atteint quelquefois jusqu'à 20 mètres.

486. Pente de la surface de la route. La ligne tracée au milieu de

la surface de la chaussée est l'axe de la route, l'intersection de la route par un cylindre vertical passant par l'axe est le *profil en long*, et une section faite par un plan perpendiculaire à l'axe est un *profil en travers*.

Afin que l'eau ne séjourne pas sur une route, son profil en travers doit être incliné d'au moins 0^m,02 par mètre, depuis l'axe vers chacun des fossés ou talus; cette pente est portée à 0^m,07 par mètre pour des sols faciles à détremper.

Si la route est établie sur le penchant d'un coteau, de manière à former précipice d'un côté, on incline toute la surface de la route vers la montagne. Le plus souvent, afin d'éviter encore plus sûrement les accidents, on borde la route d'un petit mur, ou d'un bourrelet en terre couvert de gazon, du côté de la vallée. Un fossé établi du côté de la montagne reçoit les eaux de celle-ci et de la route, pour les déverser du côté de la vallée, si cela est nécessaire, par de petits aqueducs passant sous la route.

Lorsque la route suit le revers d'un coteau, pour éviter, autant que possible, les déblais et remblais, on prend les déblais du côté du coteau pour former les remblais du côté de la vallée; mais il arrive quelquefois, pour éviter des sinuosités trop prononcées, que l'on est obligé de faire entièrement la route en tranchée; dans ce cas, les deux revers de la chaussée sont inclinés vers l'axe pour y amener les eaux; on fait la chaussée plus large, et on supprime les accotements et les fossés, si la tranchée est profonde, ce qui diminue considérablement les déblais.

Si la tranchée a peu de longueur et peu de profondeur, on ne supprime que les fossés, on incline les accotements vers la chaussée, et celle-ci vers les accotements, ce qui produit sur chacun de ses côtés un ruisseau pour recevoir les eaux.

Suivant l'axe de la route, la pente maximum est fixée à 0^m,05 par mètre; quant à la pente minimum, on est porté à croire que, pour la facilité des transports, la route doit être horizontale; mais comme, malgré la pente transversale, l'eau séjourne encore dans les sillons que laissent les roues des voitures, il convient, pour le bon état de la route, et par suite pour la facilité du tirage des voitures, qu'elle ait une inclinaison longitudinale d'au moins 0^m,005 par mètre; cette inclinaison suffit pour que l'eau suive l'or-

nière, et s'accumule en différents points en assez grande quantité pour rompre le bourrelet de l'ornière et prendre un écoulement latéral.

487. *Influence de la pente longitudinale des routes sur le tirage des voitures.* Sur une route horizontale, on a

$$R = kP.$$

- R force de traction;
P charge totale trainée;
k rapport de la force de traction à la charge trainée (25).

Théoriquement, sur une route en pente, on a sensiblement (350)

$$R = kP + P \sin \alpha.$$

- α angle que fait la route avec l'horizon; α étant très-petit, on peut prendre tangente α , c'est-à-dire la pente, pour $\sin \alpha$, qui alors varie de 0^m,005 à 0^m,05.

Les expériences de M. Gordon, dont le tableau suivant donne les résultats, prouvent que la pratique ne s'accorde pas avec la formule précédente.

PENTE PAR MÈTRE.	VALEUR THÉORIQUE de P, pour une même valeur de R.	VALEUR PRATIQUE de P, pour une même valeur de R.	DIFFÉRENCE.
0.000	11.000	11.000	0.000
0.005	8.800	"	"
0.010	7.333	9.900	2.567
0.020	5.500	8.355	2.855
0.030	4.400	"	"
0.040	3.667	"	"
0.050	3.143	5.859	2.716

Les valeurs théoriques de P consignées dans ce tableau sont calculées dans l'hypothèse de $k=0,02$, d'où il résulte que l'on a $R=0,02 \times 11 = 0,22$.

On ne peut attribuer ce grand avantage de la pratique sur la théorie qu'au meilleur état dans lequel se trouve la route, à mesure qu'elle est plus inclinée (486), ce qui diminue la valeur de k .

488. *Direction d'une route.* La direction d'une route est déterminée

par la position des points principaux qu'elle doit relier, sans avoir égard à la position des points intermédiaires. Le tracé consiste à fixer, soit sur un terrain, soit sur un dessin, la position de tous les points de l'axe de la route, en s'assujettissant à passer par les points qui ont déterminé la direction.

Une route doit traverser le plus grand nombre possible de lieux habités, et surtout commerciaux et manufacturiers, ou en approcher le plus possible, afin de les faire participer aux avantages qu'elle procure; c'est donc d'après des considérations commerciales ou militaires que l'on fixe la direction d'une route, ce qui ne peut être que du ressort de l'administration. Mais comme, aux considérations d'utilité publique, il faut joindre l'économie d'exécution, généralement l'art doit être consulté; ainsi, par exemple, si la route doit traverser un cours d'eau, c'est à l'ingénieur à fixer le point où il sera le plus économique de le traverser, en ayant égard à toutes les dépenses et à l'éloignement de la direction fixée par l'utilité. C'est surtout quand la route doit traverser une chaîne de montagnes, que l'ingénieur doit intervenir, pour déterminer le point le plus bas du faite, afin de diminuer, autant que possible, les frais de tranchée, et rendre les communications faciles.

489. *Considérations générales sur la détermination du point bas d'une chaîne de montagnes.* Pour déterminer le point minimum du faite d'une chaîne de montagnes, afin de ne pas se jeter dans des nivellements fort pénibles et très-dispendieux, surtout dans les pays très-accidentés, on se guidera par les considérations suivantes, déduites de principes posés par M. Brisson.

En considérant une portion assez étendue d'un continent, on y remarque des chaînes de montagnes et des cours d'eau; et si on examine attentivement une de ces chaînes, on s'aperçoit qu'il est possible de tracer sur sa crête une ligne telle, que les eaux qui s'y répandent s'écoulent en partie sur l'un des versants, et en partie sur l'autre. Lorsque ces eaux coulent dans deux fleuves différents, cette ligne, qui part des côtes de la mer, de part et d'autre de l'embouchure du fleuve, et qui contourne complètement ce fleuve en passant à sa source, prend le nom de *faîte*.

La portion de pays enveloppée par le faite prend le nom de *bassin*.

Le fleuve suit nécessairement la ligne formée par tous les points les plus bas ; cette ligne prend le nom de *talweg*, mot qui signifie chemin de la vallée.

Le fleuve divise le bassin en deux parties inclinées ; la partie placée à droite du fleuve prend le nom de *versant droit*, et la partie à gauche, celui de *versant gauche* ; la droite du fleuve se trouve à droite de la personne qui descend son cours, et la gauche à sa gauche.

La division la plus naturelle d'un pays est celle en bassins, désignés chacun par le nom du fleuve qui en reçoit les eaux. On emploie cette division pour les affaires qui ont rapport à la navigation ; ainsi on distingue les bassins de la Meuse, du Rhin, de la Seine, de la Garonne, du Rhône, etc.

Comme des nivellements seuls peuvent faire reconnaître la véritable position des faites, il en résulte que la division en bassins n'a jamais eu d'application politique ni administrative.

Aux chaînes de montagnes dont les faites séparent les bassins, et que l'on appelle *chaînes principales*, s'en rattachent d'autres appelées *chaînes secondaires*, dont les faites sont à peu près perpendiculaires à celui de la chaîne principale ; et à ces chaînes secondaires se rattachent des *chaînes tertiaires*, dont les faites sont à peu près perpendiculaires à ceux des chaînes secondaires, et par conséquent parallèles à celui de la chaîne principale.

Deux chaînes tertiaires voisines sont séparées par un talweg qui amène les eaux des versants tributaires dans le talweg qui sépare les deux chaînes secondaires voisines, et ce talweg secondaire amène les eaux qui y affluent dans le talweg principal. Ces relations, qui existent entre les talwegs et les chaînes de montagnes, et les considérations suivantes, peuvent servir à déterminer à priori, à l'aide d'une bonne carte, non-seulement la position d'un faite, mais aussi son point le plus bas, où par conséquent il convient de faire passer la route :

1° Le faite d'une chaîne de montagnes, sans avoir rien de géométrique, ni dans le sens horizontal, ni dans le sens vertical, est cependant à peu près droit dans son ensemble ; il est toujours incliné dans le même sens que le talweg.

2° Quand un faite est rencontré en un même point par deux ou par un plus grand nombre de faites secondaires, ce point doit être élevé au maximum.

- 3° Quand un faite est rencontré par deux talwegs, le point commun de rencontre doit être un minimum relatif (canal du Rhône au Rhin).
- 4° Quand un faite est rencontré par un faite et un talweg secondaires, il offre une inflexion horizontale au point de rencontre, sans avoir rien de remarquable dans le sens vertical.
- 5° Quand deux talwegs, après avoir été parallèles, divergent dans des sens opposés, le point où ces talwegs prolongés rencontrent le faite, est nécessairement un minimum (Canal de Crozat et du Languedoc).
- 6° Quand les deux talwegs ont leurs cours parallèles sur une certaine étendue, mais dirigés en sens contraire, le faite doit présenter un point minimum dans l'intervalle qui sépare les deux sources (Canal du centre).

490. *Tracé d'une route. Nivellement.* Une fois la direction de la route déterminée, d'après les considérations administratives et de géographie physique des nos 483 et 489, il s'agit d'en faire le tracé, c'est-à-dire de déterminer tous les points de son axe, compris entre les divers points principaux fixés par la direction.

Pour faire le tracé de la route entre deux points principaux successifs, si de l'un de ces points, ou même d'un point intermédiaire, on peut distinguer toute l'étendue du terrain qui les sépare, on commence par tracer par la pensée l'axe de la route sur le terrain, de manière à avoir les pentes et les contours les plus convenables ; on fixe ainsi à peu près la position de la route par rapport à des arbres, des angles de haies, de murs ou de ruisseaux, ou encore à des grosses pierres faciles à distinguer. Cela fait, on parcourt le terrain afin d'en faire une reconnaissance plus complète, et on détermine, à l'aide de jalons, une ligne, dite *ligne d'opération*, que l'on croit devoir adopter pour axe de la route ; cette ligne s'écarte ordinairement peu de de la première ligne que l'on a supposée, étant au point d'observation.

En fixant ainsi la position approchée de la route, on doit rechercher non-seulement à obtenir le chemin le plus court, à diminuer autant que possible les terrassements, sans dépasser la pente maximum 0^m,05 pour les routes affectées spécialement aux voitures de roulage, et à éviter tous travaux dispendieux, mais aussi à se placer sur le sol le meilleur, le moins cher, le mieux exposé au soleil et le plus facile à égoutter après les pluies. Dans un pays de montagnes, la route doit suivre le fond de la vallée, mais à un niveau supérieur aux inondations, ou le faite de la chaîne, les on-

dulations des chaînes secondaires (489) se faisant peu sentir près du faite. Si la route doit descendre du faite dans la vallée, on suit le versant d'une chaîne secondaire.

Dans un pays uniforme ou très-légèrement accidenté, il est évident que la ligne d'opération doit être droite; mais si le sol est entrecoupé de montagnes, de rivières, de marais, de lieux bâtis, il faut modifier le tracé droit en ayant égard aux considérations de commodité, d'économie et de solidité précédentes.

Lorsque le terrain est très-peu accidenté, pour peu que l'on ait d'habileté, on peut fixer assez convenablement la ligne d'opération pour pouvoir l'adopter comme axe de la route; alors, on se contente de faire un nivellement en longueur suivant cette ligne, de rapporter ce nivellement sur une feuille de papier, en adoptant une échelle convenable et une ligne horizontale de comparaison passant au-dessus du point le plus élevé du sol à traverser, et de fixer sur ce profil la position de l'axe de la route par rapport à la surface du sol.

Pour peu que le sol soit accidenté, on ne doit plus s'en rapporter, malgré son habileté, au simple coup d'œil pour fixer la position définitive de l'axe de la route; on doit faire le plan d'une zone de terrain s'étendant à droite ou à gauche de la ligne d'opération, à une distance que ne peut dépasser la route. Pour cela, on fait en des points de la ligne d'opération, convenablement rapprochés et marqués par des jalons ou piquets numérotés, des profils en travers s'étendant sur toute la largeur de la zone à relever. On rapporte sur le papier, à une échelle convenable, le plan de la ligne d'opération et des profils en travers, en indiquant la distance des profils en travers, ainsi que celle entre eux des différents points de chacun de ces profils; de plus, en chacun de ces points, on place la cote de niveau. C'est à l'aide du plan ainsi formé que, dans son cabinet, on étudie la véritable position de la route. Il convient, aux points principaux de ce plan, d'indiquer la qualité du terrain, sa valeur, le nom du propriétaire, et les difficultés d'exécution que l'on y rencontrera.

Pour être à même de former ce plan, il faut donc avoir déterminé sur le terrain :

- 1° L'angle que fait la ligne qui joint un piquet de la ligne d'opération au voisin avec la ligne qui joint celui-ci au suivant; mais, comme ces angles peuvent être pris d'un côté ou de l'autre, pour éviter les erreurs, il convient de préciser s'ils sont pris à droite ou à gauche; la droite ou la gauche étant prise par rapport à la personne qui, se plaçant dans l'axe de la route, suit sa direction, toujours dans le même sens; ou a soin d'indiquer d'avance le sens adopté; ainsi, par exemple, ce sera dans le sens de Paris à Lille, pour une route à construire entre Paris et Lille.
- 2° Les distances des piquets de la ligne d'opération, et les cotes du terrain aux points où se trouvent ces piquets.
- 3° La distance des piquets de chacun des profils en travers, et les cotes du terrain aux points où se trouvent ces piquets, par rapport au plan horizontal de comparaison adopté pour le profil en long.

Afin qu'il n'y ait pas confusion, il convient, à mesure que l'on obtient ses résultats sur le terrain, de les inscrire sur deux tableaux tracés à l'avance, et dont nous allons donner les modèles. Le premier est disposé pour le plan et le profil de la ligne d'opération, et le second pour les profils en travers.

1° Profil en long.

NUMÉROS des piquets.	ANGLES A		DIS- TANCES des piquets.	COUPS		COTES.	OBSERVATIONS.
	droite.	gauche.		arrière.	avant.		
1 (*)	100 ^m ,00	(*) Nature du terrain, difficultés d'exécution, noms des propriétaires, etc.
"	.....	.....	38 ^m ,40	1 ^m ,20	1 ^m ,80	"
2	160° 15' 17"	.....	.....	.....	.....	100 ^m ,60
"	.....	.....	32 ^m ,75	1 ^m ,78	2 ^m ,40	"
3	180° 0' 0"	.....	.....	.....	.....	101 ^m ,22
"	.....	.....	38 ^m ,45	0 ^m ,85	2 ^m ,22	"
4	<i>Id.</i>	.....	.....	.....	.....	102 ^m ,59
"	.....	.....	29 ^m ,40	1 ^m ,80	0 ^m ,50	"
5	.....	168° 15' 6"	.....	.....	.....	101 ^m ,29

Pour obtenir les nombres de la quatrième et de la cinquième colonne, on se place avec le niveau à peu près au milieu de l'intervalle qui sépare deux piquets successifs, et on appelle *coup-arrière* le nombre indiqué par la personne qui tient la mire lorsqu'on regarde

du côté du point de départ, et *coup-avant* le nombre indiqué par la personne qui tient la mire lorsqu'on regarde en avant; ainsi, dans les exemples du tableau précédent, le niveau étant placé entre les piquets 1 et 2, les coups-arrière et avant sont respectivement 1^m,20 et 1^m,80; entre les piquets 2 et 3, ces coups sont 1^m,78 et 2^m,40, etc.

Pour avoir les nombres de la sixième colonne, qui expriment les distances des différents points du sol où se trouvent les piquets, au-dessous du plan horizontal de comparaison, on prend pour le piquet n° 1 la cote 100 mètres, ou tout autre nombre tel que l'horizontale menée à la hauteur qu'il exprime passe au-dessus des plus hautes montagnes que l'on peut avoir à traverser; pour avoir la cote du piquet n° 2, à la cote 100 mètres du piquet n° 1 on ajoute le coup-avant 1^m,80, de la somme on retranche le coup-arrière 1^m,20, et la différence 100^m,60 est la cote cherchée, que l'on écrit en face du nombre 2 indiquant le numéro d'ordre du piquet; on opère de la même manière pour avoir la cote d'un piquet quelconque, c'est-à-dire qu'à la cote du piquet précédent on ajoute le coup-avant, et de la somme on retranche le coup-arrière.

Pour les profils en travers, on opère de la même manière que dans le cas précédent, et on dispose les résultats comme l'indique le tableau suivant. La partie droite de ce tableau comprend les piquets *a, b, c*, etc., de chaque profil, placés à droite de la ligne d'opération; la partie gauche comprend les piquets *a', b', c'*, etc., placés à gauche de cette même ligne. *a* et *a'* sont les premiers piquets à partir de la ligne d'opération, *b* et *b'* sont les seconds et ainsi de suite.

Que l'on soit à droite ou à gauche de la ligne d'opération, on considère comme point de départ, pour chaque côté, le piquet de la ligne d'opération; il convient de remarquer que cela n'oblige pas de commencer le nivellement par ce piquet; mais qu'il faut se rappeler que le coup-arrière se donne toujours en regardant vers ce piquet, et le coup-avant en lui tournant le dos; en commençant à une extrémité d'un profil, on ne peut calculer les cotes des piquets que quand on est arrivé au piquet de la ligne d'opération, ce qui est sans inconvénient.

2° Profils en travers.

OBSERVATIONS.	GAUCHE.				PIQUETS de la ligne d'opération ou profils en travers.	DROITE.				OBSERVATIONS.
	COTES.	COUPS		DISTANCES des piquets.		PIQUETS des profils.	COUPS		COTES.	
		AVANT.	ARRIÈRE.				ARRIÈRE.	AVANT.		
	m. 100.00	m. 1.40	m. 1.20	m. 4.00	1	m. 3.00	m. 1.05	m. 1.50	m. 100.00	
(*) Nature du terrain, difficultés d'exécution, etc.	100.20	1.70	1.24	3.16	a(*)	2.50	1.00	1.50	100.45	(*) Nature du terrain, difficultés d'exécution, etc.
	100.66	1.78	1.14	5.54	b	4.50	1.25	2.05	100.95	
	101.30				c	3.16	1.16	1.06	101.75	
					d	5.25	1.03	2.14	101.65	
	100.60				e				102.76	
	100.82	1.55	1.33	3.17	2	2.46	1.14	1.74	100.60	
	100.96	1.59	1.45	4.09	a'	3.40	1.44	1.25	101.20	
	101.11	1.70	1.55	5.34	b'	6.10	1.30	1.25	101.01	
	101.22				c'				100.96	
					3				101.22	

On opérerait de la même manière pour le profil 3 et pour tous les autres que pour les profils 1 et 2. Il est à remarquer que les piquets placés sur la ligne d'opération portent les mêmes cotes que sur le tableau du profil en longueur.

Cotes de points intermédiaires. Le sol entre deux piquets successifs doit avoir une pente uniforme; de sorte que, ayant les cotes *c* et *c'* de deux piquets successifs A et B, éloignés entre eux de la

distance d , la cote c'' , d'un point intermédiaire situé à la distance d' du piquet A, sera donnée par la formule

$$c'' = c + \frac{d'}{d}(c' - c).$$

Si au contraire on voulait avoir la valeur de d' correspondant à une cote donnée c'' , on aurait

$$d' = d \frac{c'' - c}{c' - c}.$$

A l'aide des résultats des deux tableaux précédents, on établira le plan de la zone de terrain nivelée; on dessinera un profil en long suivant la ligne d'opération, et sur ce profil on rapportera une ligne indiquant la position de l'axe de la route. Cet axe, d'après sa position par rapport à la surface du sol, donnera un aperçu des quantités de déblais et remblais à faire, de la distance des transports, et par conséquent les points où il conviendra de modifier le premier profil. Les cotes indiquées sur le plan de la zone nivelée indiqueront de combien il convient de reporter l'axe de la route à droite ou à gauche de la ligne d'opération, pour avoir le moins de déblais et de remblais possible, et de manière que les déblais compensent les remblais avec la moindre distance de transport. Dans ces modifications du premier profil, il ne faut pas perdre de vue que la route doit toujours offrir un aspect agréable et par conséquent être d'une pente autant que possible uniforme, et avoir le moins de contours possible; ce n'est que la raison d'économie qui fait s'écarter du premier profil, que l'œil a choisi comme réunissant le mieux toutes ces conditions.

Une fois que l'on a obtenu un profil satisfaisant, on l'arrête sur le plan de la zone nivelée par un ligne rouge représentant la position de l'axe de la route. Sur le profil en long, l'axe de la route se représente par une ligne rouge avec un petit liséré rouge, et la surface du sol, par une ligne noire avec liséré noir; cette ligne noire est supposée droite entre les différents points nivelés. La ligne représentant le plan horizontal de comparaison, ainsi que celles représentant les cotes des points remarquables du terrain et de la route se font en lignes noires pointées.

Une fois le profil dessiné à une échelle convenable, de 0^m,001 à 0^m,002 ou moins encore par mètre, pour les longueurs, et de 0^m,005 à 0^m,01 pour les cotes du terrain et de l'axe de la route, on fait le dessin des profils en travers, que l'on étend de part et d'autre de l'espace que doit occuper la route; sur chacun de ces profils, on dessine celui de la route, y compris les fossés et les talus. Ces profils en travers, que l'on fait à une échelle de 0^m,005 à 0^m,01 par mètre, peuvent se placer sur la même feuille que le profil en long, en regard des points qui leur correspondent, ce qui facilite les comparaisons; mais ordinairement on les dessine sur une feuille séparée, en les éloignant de 0^m,10 à 0^m,12, afin d'éviter toute confusion. Le profil de la surface du sol se fait par une ligne noire avec liséré noir, et celui de la route et des fossés ou talus, par une ligne rouge avec liséré rouge; la ligne indiquant le plan de comparaison, ainsi que celles représentant les cotes des points remarquables du profil se font en lignes noires pointées.

Pour dessiner exactement ces derniers profils, il conviendrait de faire de nouveaux nivellements; mais ordinairement on peut les établir à l'aide des cotes fournies par les premiers nivellements.

491. *Cotes rouges. Points et lignes de passage.* On appelle cotes rouges les distances verticales de chacun des points de la surface du sol au point correspondant de la surface du projet. Ainsi l'on déterminera une cote rouge à l'aide d'une simple soustraction, quand on connaîtra les cotes du terrain et du projet au point considéré.

Les cotes des points remarquables du terrain sont données par les nivellements, et celles des points intermédiaires, par la formule page 592. Ayant les cotes de la surface du projet, cette même formule servira également à déterminer la cote d'un point intermédiaire.

Si on avait la cote du projet en un point, pour avoir la cote d'un autre point relié au premier par une pente uniforme, et situé à une certaine distance, on ajouterait à la cote du premier point ou on en retrancherait, suivant que la pente irait en descendant ou en montant, le produit de la pente par mètre par la distance horizontale des deux points. Si la pente n'était pas uniforme entre les deux points, on déterminerait successivement les cotes des

points d'inflexion intermédiaires, et du dernier de ces points on passerait au point considéré.

On appelle *point de passage*, le point en lequel la ligne du projet rencontre la ligne du terrain, pour passer du dessus en dessous, ou réciproquement. Ayant les cotes rouges c et c' sur deux verticales A et B reliées par des pentes uniformes et éloignées entre elles d'une distance horizontale d , on aura la distance horizontale d'' de la verticale A au point de passage, à l'aide de la formule

$$d'' = \frac{d \times c}{c + c'};$$

$d'' = d - d'$ sera la distance horizontale du point de passage à l'autre verticale B; on pourrait du reste la calculer de la même manière que d' .

Lorsque la surface du projet, après avoir été au-dessous du sol, passe au-dessus, ou réciproquement, elle rencontre la surface de ce dernier suivant une ligne continue que l'on appelle *ligne de passage*. Cette ligne se détermine par points, en déterminant les points de passage qui ont lieu sur différents plans verticaux menés parallèlement à l'axe de la route; ces plans se mènent par tous les sommets des angles rentrants ou saillants de la surface du sol et du projet (492).

492. *Calculs des déblais et remblais.* Après avoir fixé la position de la route et fait tous les profils en travers, il convient de se rendre compte des volumes de déblais et de remblais qu'exige le projet adopté, afin de modifier ce projet si les déblais ne compensent pas convenablement les remblais, et de se rendre compte du prix de revient des travaux.

Ce travail, qui n'offre aucune difficulté du reste, exige que l'on procède avec ordre, et que l'on dispose convenablement les différents résultats. Pour cela, on commence par considérer les intervalles des profils consécutifs comme étant indépendants les uns des autres, et on calcule les volumes de déblais et de remblais compris entre deux profils, en opérant de la manière suivante :

Soient 1 et 2, figure 21, planche III, deux demi-profils consécutifs; on mène des plans verticaux parallèles à l'axe de la route

par tous les angles saillants et rentrants que présentent les profils de la route et du terrain; ces divers plans divisent les cubes, de formes plus ou moins bizarres, de déblais et de remblais, en solides d'une régularité suffisante pour qu'on puisse les évaluer avec une exactitude suffisante.

Après avoir mené ces divers plans, on détermine, s'il y a lieu, c'est-à-dire si ces plans coupent à la fois une partie en déblai et une partie en remblai, les divers points de passage (491), et en réunissant ces points par des lignes droites, on obtient les lignes de passage $iki'lmno$ et pqr de la surface du projet sur la surface du sol. Cela fait, après avoir préparé le tableau suivant, on considère les solides a et a' détachés par le premier plan parallèle à l'axe. Le solide a est une pyramide, désignée par pyramide a dans la deuxième colonne du tableau, qui a pour base sa section stu sur le profil 1, et pour volume cette base multipliée par le tiers de sa hauteur $31^m,61$, distance du point de passage k au profil 1. Le triangle stu peut être considéré comme ayant pour hauteur la largeur $1^m,75$, que l'on place dans la troisième colonne du tableau, et pour base la cote rouge $1^m,68$; on prend la moitié $0^m,84$ de cette cote rouge, on l'inscrit dans la 4^e colonne du tableau, et le produit $1^m,75 \times 0,84 = 1^m,47$ est la surface de la base de la pyramide, on l'écrit dans la 5^e colonne. On prend le tiers $10^m,54$ de la hauteur $31^m,61$ de la pyramide, on inscrit ce tiers dans la 6^e colonne du tableau, et le produit $1,47 \times 10,54 = 15^m,49$ est le volume de la pyramide, on l'écrit dans la 7^e colonne. On opère de la même manière pour la pyramide a' et pour celles e' et g' , en plaçant les cubes dans la 7^e ou la 8^e colonne du tableau, selon que la pyramide est en déblai ou en remblai.

Pour le solide se projetant suivant le trapèze b , et inscrit trapèze b dans la 2^e colonne du tableau, on le considère comme ayant pour base le trapèze $tuvx$. Ce trapèze a pour hauteur la largeur $0^m,50$, que l'on inscrit dans la 3^e colonne, et pour base moyenne, la hauteur moyenne $\frac{1,68 + 1,66}{2} = 1^m,67$, que l'on place dans la 4^e colonne; le produit $0,50 \times 1,67 = 0^m,84$ est la surface de la base du solide b . Pour avoir son volume, on remarque qu'on peut le considérer comme étant équivalent à la moitié d'un prisme

ayant même base et une hauteur égale à la moyenne $\frac{31,61+29,20}{2}$
 $= 30^m,405$, ou à un prisme ayant même base et une hauteur
 égale à $\frac{30,405}{2} = 15^m,20$, que l'on écrit dans la 6^e colonne. Le pro-
 duit $0,84 \times 15^m,20 = 12,69$ est le volume du solide *b*, on l'inscrit
 dans la 8^e colonne. On opère de la même manière pour cuber les
 solides *b', c, c', d, d', e, g, h* et *h'*.

Le solide se projetant suivant le rectangle *f* a une base sur
 chaque profil, et peut être considéré comme étant équivalent à
 un prisme ayant pour base la moyenne des bases du solide *f*, et pour
 hauteur celle de ce solide, c'est-à-dire la distance des deux profils.

La base située sur le profil 1 est égale à $1,35 \frac{0,68}{2}$, et celle située
 sur le profil 2, à $1,35 \frac{0,35}{2}$, la moyenne de ces surfaces est

$1,35 \frac{0,68+0,35}{4} = 1,35 \times 0,26 = 0^m,35$; on placera donc $1^m,35$

dans la 3^e colonne du tableau, $0^m,26$ dans la 4^e, $0^m,35$ dans la
 5^e et $35^m,00$ dans la 6^e; le produit $0,35 \times 35 = 12^m,29$, est le
 volume du solide. Si ce solide, au lieu d'avoir des bases triangu-
 laires, avait des bases trapézoïdales ou un base triangulaire et une
 base trapézoïdale, on opérerait d'une manière semblable; ainsi, les
 deux bases étant des trapèzes, en représentant les cotes rouges par
a b c et *d*, pour une même largeur $1^m,35$, la base moyenne serait

$$1,35 \frac{a+b+c+d}{4};$$

Si l'une des bases était un triangle, c'est-à-dire si la cote *d* était
 nulle, la base moyenne serait

$$1,35 \frac{a+b+c}{4}$$

Dans tous les cas, la base moyenne multipliée par la distance des
 profils donne le cube du solide.

Tous les volumes des déblais et remblais que l'on peut avoir à
 évaluer peuvent toujours se décomposer en des solides semblables

à ceux que nous venons d'examiner et que nous avons distingués
 par pyramides, trapèzes et rectangles.

TABLEAU des calculs des déblais et remblais.

PROFILS comprenant les solides.	INDICATION des solides.	BASES ou profils des solides.			LON- GUEURS des so- lides.	CUBES EN		OBSERVATIONS
		Lar- geur.	Hau- teur.	Surface.		déblai.	remblai.	
1	Pyramide <i>a</i> .	m. 1.75	m. 0.84	m.c. 1.47	m. 10.54	m.c. 15.49	m.c.	Nature du sol, etc.
	Pyramide <i>a'</i> .	0.75	0.09	0.07	1.13	»	0.08	
	Trapèze <i>b</i> .	0.50	1.67	0.84	15.20	12.69	»	
	Trapèze <i>b'</i> .	0.50	0.26	0.13	2 30	»	0.30	
	Trapèze <i>c</i> .	0.45	1.43	0.64	13.57	8.73	»	
	Trapèze <i>c'</i> .	0.45	0.38	0.17	3.93	»	0.67	
	Trapèze <i>d</i> .	0.70	1.17	0.82	13.46	11.00	»	
	Trapèze <i>d'</i> .	0.70	0.34	0.24	4.04	»	0.96	
	Trapèze <i>e</i> .	0.95	0.92	0.88	15.94	14.03	»	
	Pyramide <i>e'</i> .	0.95	0.13	0.12	2.08	»	0.25	
	Rectangle <i>f</i> .	1.35	0.26	0.35	35.00	12.29	»	
	Trapèze <i>g</i> .	1.70	0.58	0.99	12.99	12.81	»	
	Pyramide <i>g'</i> .	1.70	0.43	0.73	6.01	»	4.39	
	Trapèze <i>h</i> .	1.30	0.70	0.91	6.74	6.13	»	
Trapèze <i>h'</i> .	1.30	1.18	1.53	10.76	»	16.51		
2	Totaux..					93.17	23.16	

On continuerait de la même manière pour l'autre portion com-
 prise entre les profils 1 et 2; on ne ferait les totaux qu'après avoir
 calculé tout ce qui sépare deux profils, et on continuerait le tableau
 pour ce qui est intercepté par les profils 2 et 3, puis 3 et 4 et ainsi
 de suite.

493. *Méthode expéditive pour calculer les déblais et remblais.* A
 moins qu'il ne s'agisse de volumes considérables, ou d'un sol
 difficile à attaquer, on peut généralement suivre la méthode que
 nous allons exposer :

1° La route étant complètement en déblai ou en remblai sur les deux profils, le volume D de déblais, ou R de remblais, se calcule comme pour le solide désigné par rectangle f , dans la méthode précédente, c'est-à-dire en considérant ce volume comme étant équivalent à celui d'un prisme droit ayant pour hauteur la distance des deux profils, et pour base une moyenne arithmétique entre les surfaces des deux profils.

Ainsi, S étant la surface d'un profil, s la surface de l'autre profil et d la distance de ces profils, on a

$$D \text{ ou } R = \frac{S+s}{2} d.$$

Il n'est pas nécessaire que les déblais ou remblais aient la même largeur sur les deux profils.

2° Si la surface S d'un des profils était complètement en remblai et celle s de l'autre profil complètement en déblai, on supposerait que la distance moyenne d' de la ligne de passage à l'un des profils, à celui en remblai par exemple, est donnée par la formule du n° 491, dans laquelle les cotes rouges c et c' sont remplacées par les surfaces S et s; on aurait

$$d' = \frac{d \times S}{S + s}.$$

La distance moyenne d'' de la ligne de passage à l'autre profil peut se calculer de la même manière que d' , mais on l'obtient en remarquant que l'on a $d'' = d - d'$.

Ayant d' , on calculerait le cube R du remblai de la même manière que celui du solide désigné par trapèze b dans la méthode précédente (page 595), c'est-à-dire en le considérant comme étant équivalent à la moitié d'un prisme ayant même base S et même hauteur d' , ou encore à un prisme ayant S pour base et $\frac{d'}{2}$ pour hauteur; ainsi on aurait

$$R = S \frac{d'}{2}.$$

Pour les mêmes raisons, on aurait

$$D = s \frac{d''}{2}.$$

3° Si l'un des profils était complètement en déblai ou en remblai, et que l'autre fût partie en remblai et partie en déblai, par le point de rencontre des remblais et des déblais sur ce dernier profil, on mènerait un plan parallèle à l'axe de la route; ce plan diviserait ce qui separe les deux profils en deux parties; l'une complètement en déblai ou en remblai, et que l'on évaluerait comme au 1°; l'autre en déblai sur un profil et en remblai sur l'autre, et que l'on évaluerait comme au 2°.

4° Si les profils étaient tous deux partie en déblai et partie en remblai, mais que les parties en déblai et en remblai fussent correspondantes sur les deux plans, sans pour cela avoir la même largeur, on calculerait le cube des déblais, ainsi que celui des remblais, comme au 1°.

5° Enfin, si les profils comprennent des parties en déblai et des parties en remblai, mais ne se correspondant pas sur les deux profils, ce qui est le cas de la figure 21, planche III, pour lequel nous avons formé le tableau, page 597, on considère la première surface s du profil 1, qui est en déblai et la première surface S, du profil 2, qui est en remblai, et on calcule les cubes de déblais et de remblais qui correspondent à ces surfaces comme au 2°. Considérant ensuite la seconde surface S' du profil 1, qui est en remblai, et la seconde surface s' du profil 2, qui est en déblai, on calcule également les déblais et remblais comme au 2°.

Afin de donner une idée de la marche à suivre pour calculer les déblais et remblais et de la manière de disposer les résultats dans les différents cas que nous venons d'examiner, nous allons former le tableau suivant pour le cas du 5°, c'est-à-dire pour la figure 21.

On considère d'abord la partie qui correspond aux premières surfaces s et S; c'est ce que l'on indique dans la deuxième colonne du tableau. On calcule ensuite la surface en déblai s , en évaluant, d'après les largeurs interceptées entre les différentes cotes rouges menées aux points remarquables du projet et du sol, et les valeurs de ces cotes, les surfaces partielles interceptées par ces cotes; les largeurs partielles s'inscrivent dans la troisième colonne du tableau; dans la quatrième colonne on place les cotes rouges, ou mieux les valeurs par lesquelles il faut multiplier les largeurs pour avoir les surfaces partielles; ces surfaces partielles s'inscrivent dans la cin-

quième colonne. La surface totale $s = 5^{mc}, 10$ s'inscrit au bas des surfaces partielles. On calcule de la même manière la surface en remblai $S = 0^{mc}, 73$.

Ayant les surfaces de déblais et de remblais, la distance moyenne d' de la ligne de passage au profil 1 est, d'après ce qui a été dit au 2°, et d étant égale à 35 mètres,

$$d' = \frac{35 \times 5,10}{5,10 \times 0,73} = 30^{m}, 62;$$

$$\frac{30^{m}, 62}{2} = 15^{m}, 31 \text{ est la longueur du prisme droit ayant } s \text{ pour}$$

base, et dont le volume est équivalent à celui du déblai; on inscrit $15^{m}, 31$ dans la sixième colonne du tableau.

Le cube du déblai est $5,10 \times 15,31 = 78^{mcub.}, 08$, on l'écrit dans la septième colonne.

La distance moyenne d'' de la ligne de passage au profil 2 est $35 - 30,62 = 4^{m}, 38$, dont la moitié est $2^{m}, 19$, nombre que l'on écrit dans la sixième colonne.

Le cube du déblai est alors $0,73 \times 2,19 = 1^{mcub.}, 60$, nombre que l'on écrit dans la huitième colonne.

En opérant de la même manière entre S' et s' , on trouve que le volume du remblai y est $20^{mcub.}, 23$ et celui du déblai $18^{mcub.}, 13$.

Faisant les totaux des cubes en déblai et des cubes en remblai, on trouve respectivement $96^{mcub.}, 21$ et $21^{mcub.}, 83$, nombres différant peu de ceux $93^{mcub.}, 17$ et $23^{mcub.}, 16$ trouvés par la méthode exacte (tableau, page 597).

PROFILS comprenant les solides.	INDICATION des solides.	BASES ou profils des solides.			LON- GUEURS réduites.	CUBES EN		OBSERVATION.	
		Largeurs partielles.	Hauteurs.	Surfaces.		déblai.	remblai.		
1	De s à S.	m. 1.75	m. 0.84	m. 1.47	m. 15.31	m. 78.08	m. 	Nature du terrain, etc.	
		0.50	1.67	0.84					
		0.45	1.43	0.64					
		0.70	1.17	0.82					
		2.30	0.58	1.33					
		Surface en déblai s.							5.10
	De S' en s'.	1.70	0.22	0.37	2.19	1.60	20.23		
		1.65	0.22	0.36					
		Surf. en remblai S.							0.73
		3.00	0.75	2.25					
		Surf. en remblai S'.							2.25
		3.05	0.40	1.22					
1.30	0.70	0.91	8.51	18.13					
Surface en déblai s'.					2.13				
2	Totaux.					96.21	21.83		

494. *Méthode approximative pour calculer les déblais et remblais lors de l'étude du projet.* Dans ce cas, afin d'abrégier les calculs, on ajoute la surface totale en déblai sur un profil à la surface totale en déblai sur l'autre profil; cette somme, multipliée par la demi-distance des profils, donne le volume du déblai; on calcule de la même manière le cube du remblai. On voit que, dans cette méthode, les solides s'arrêtant à des lignes de passage sont supposés se prolonger d'un profil à l'autre, ce qui tend à donner des volumes plus forts; mais il vaut mieux obtenir des volumes trop forts que trop faibles.

495. *Calcul des déblais et remblais dans les parties courbes.* Dans ce cas, on opère de la même manière que pour une partie droite; seulement, au lieu de diviser les déblais et les remblais par des plans verticaux parallèles à l'axe, on les divise par des surfaces cylindriques verticales engendrées par une droite verticale qui se meut en s'appuyant sur des courbes concentriques à l'axe de la route. C'est sur ces directrices que se mesurent les distances des profils, et que l'on calcule les points et les lignes de passage.

496. *Evaluation des distances de transport.* La dépense occasionnée par les terrassements dépend non-seulement des volumes de déblais et de remblais, mais aussi de la distance de transport, distance que l'on doit par conséquent chercher à diminuer autant que possible, en suivant des chemins convenables.

La distance moyenne de transport ne peut être moindre que la distance du centre de gravité du déblai à celui du remblai; elle est souvent plus grande, quand, par exemple, on est assujéti à faire passer les chemins de transport en des points déterminés; et, aussi, dans les cas analogues à celui où le déblai est pris au centre du remblai. Dans les cas ordinaires de la pratique, on peut prendre comme distance moyenne de transport la distance des centres de gravité.

Pour se rendre compte des dépenses de transport, dans un projet de route ou de chemin de fer ou de canal, il existe plusieurs méthodes; mais la plus exacte, celle qui rend le mieux compte de tous les détails du transport, est la méthode graphique que nous allons exposer.

Soient 1, 2 et 3, figure 22, planche III. 3 profils successifs, entre lesquels il s'agit de se rendre compte de la nature du transport des terres. Pour cela, on trace une ligne indéfinie AB; sur cette ligne on prend des points *a, b, c* espacés entre eux de quantités proportionnelles aux écartements des profils; ces écartements se prennent à une échelle de 0^m,001 à 0^m,002 par mètre ou même à une échelle plus grande, afin de pouvoir mesurer assez approximativement les distances, ce qui dispense, dans divers cas, de faire des calculs assez longs. Aux points *a, b, c* on mène des perpendiculaires à AB, au-dessus et au-dessous de cette ligne; sur ces perpendiculaires, au-dessus de AB, on prend, à une échelle de 0^m,005 par

mètre, des longueurs proportionnelles aux surfaces en déblai des profils correspondants; sur ces mêmes perpendiculaires, on prend, au-dessous de AB, et à la même échelle, des longueurs proportionnelles aux surfaces en remblai des profils.

Ainsi sur le profil 1 la surface en déblai étant 15^m,50, et la surface en remblai 8^m,46, on prend *ad* égal à une longueur représentant 15^m,50, et *ae* égal à 8^m,46. Sur le profil 2, les surfaces en déblai et en remblai étant respectivement 7^m,40 et 3^m,50, on prend *bf* = 7^m,40 et *bg* = 3^m,50.

Le volume du déblai compris entre les profils 1 et 2 étant égal à la demi-somme de ses surfaces sur ces profils, multipliée par la distance des profils, il est égal à $\frac{15,50 + 7,40}{2} \times 30 = 343^{\text{m}^3},50$, valeur qui est représentée en mètres carrés par l'aire du trapèze *abfd*. Par la même raison le volume du remblai compris entre les profils 1 et 2 est égal à $\frac{8,46 + 3,50}{2} \times 30 = 179^{\text{m}^3},40$, c'est-à-dire qu'il est représenté par l'aire du trapèze *abge*.

Prenant *ci* = 3^m,62, et joignant *fi*, le point *k* représente la position moyenne de la ligne de passage de la partie en déblai du profil 2 et de la partie correspondante en remblai du profil 3. Le volume du déblai est représenté par l'aire du triangle *bkf* et celui du remblai correspondant, par celle du triangle *cik*. L'autre partie de remblai comprise entre les profils 2 et 3 est représentée par le trapèze *bchg*, de sorte que construisant *hkl'* équivalent au triangle *cik*, ce qui se fait simplement en prenant *hl* = *ci*, l'aire du polygone *bclkg* représente le volume total de remblai compris entre les profils 2 et 3.

D'abord on a (nos 491 et 493) $bk = \frac{50 \times 7,40}{7,40 + 3,62} = 33^{\text{m}},57$, et par suite $kc = 50 - 33,57 = 16,43$. L'aire du triangle *bkf* est alors $\frac{7,40 \times 33,57}{2} = 124^{\text{m}^2},21$, ce qui représente le cube du déblai compris entre les profils 2 et 3.

On a

$$kk = bg + (ch - bg) \frac{bk}{bc} = 3,50 + (10,40 - 3,50) \frac{33,57}{50} = 8^{\text{m}},13.$$

L'aire du trapèze $bk'k'g = \frac{3,50 + 8,13}{2} \times 33,57 = 195^m,38$, celle du trapèze $kcl'k' = \frac{8,13 + 14,02}{2} \times 16,43 = 182,05$; et par suite la surface du polygone $bckl'k'g$ est égale à $195,38 + 182,05 = 377^m,43$, valeur qui exprime le cube total de remblai compris entre les deux profils 2 et 3.

Examinons maintenant de quelle manière les déblais seront employés pour faire les remblais. Entre les profils 1 et 2, si on prend $am = ae$ et $bn = bg$, on voit que la partie $abnm$ du déblai sera employée pour faire le remblai $abgc$, sans aucun transport suivant la longueur de la route, mais que le restant de remblai, représenté par le trapèze $mndf$, et qui est par conséquent égal à $343,50 - 179,40 = 164^m,10$, devra être transporté entre les profils 2 et 3, et peut-être plus loin. Les parties qui se compensent sans transport longitudinal se distinguent dans la figure par un liséré en hachures.

Entre les profils 2 et 3, le triangle en déblai bkf se place directement sur le triangle bko , ou mieux sur le polygone $bko'g$, en faisant le triangle $ko'p$ équivalent au triangle opg . Il reste donc entre ces deux profils un excès de remblai représenté par le polygone $kcl'k'o'$. Comme ce polygone est la différence entre le polygone $bckl'k'g$ et le triangle bkf , l'excès de remblai est donc $377,43 - 124,21 = 253^m,22$; ainsi les $164^m,10$ d'excès de déblai entre les profils 1 et 2 seront employés à remblayer entre 2 et 3, et il restera encore un excès de remblai égal à $253,22 - 164,10 = 89^m,12$. Cet excès est représenté par le trapèze $clqr$, dont il faut d'abord déterminer les dimensions rc et rq .

Lorsque le point r est en c , on a $rq = cl$ et lorsqu'il est en k , on a $rq = kk'$; ainsi pour un avancement $ck = 16,43$, cq a diminué de $cl - kk' = 14,02 - 8,13 = 5^m,89$, ce qui fait $0^m,36$ par mètre. Cela étant, on a

$$89,12 = rc \frac{14,02 + 14,02 - rc \times 0,36}{2};$$

équation de laquelle on peut tirer directement la valeur de rc ; mais il est plus commode de déterminer cette valeur par tâton-

nement : la surface du trapèze $clqr$ et la valeur de cl font juger quelle sera à peu près la valeur rc ; ainsi dans ce cas elle différera peu de $6^m,50$; remplaçant dans le second facteur du deuxième terme de l'équation précédente rc par cette valeur, on a

$$89,12 = rc \frac{14,02 + 14,02 - 6,5 \times 0,36}{2}, \text{ d'où } rc = 6^m,94.$$

Cette valeur étant substituée à son tour dans l'équation, on conclut $rc = 6^m,98$, valeur différant très-peu de la précédente et que l'on peut adopter en pratique.

On a

$$kr = 16,43 - 6,98 = 9^m,45, \text{ et } rq = 14,02 - 0,36 \times 6,98 = 11^m,51.$$

Au lieu de déterminer directement la valeur de rc , on aurait pu déterminer celle de kr , en remarquant que la surface du trapèze $krqk'$ est la différence entre les deux trapèzes $kcl'k'$ et $rclq$, c'est-à-dire égale à

$$182,05 - 89,12 = 92^m,93,$$

et que

$$rq = kk' + 0,36 \times kr.$$

Examinons maintenant quelle sera la distance moyenne à parcourir pour transporter le déblai représenté par le trapèze $mndf$ sur l'espace occupé par le remblai représenté par le pentagone $krqk'o'$. Cette distance est égale à celle des centres de gravité de ces polygones, mesurée suivant AB. Le trapèze $mndf$ se compose de deux triangles dont l'un, celui mnf , a son centre de gravité au point C situé à une distance de bf égale à $\frac{30}{3} = 10^m,00$; le triangle $mf d$ a son centre de gravité au point D situé à une distance de bf égale à $2 \frac{30}{3} = 20^m,00$; le centre de gravité du trapèze se trouve entre les points C et D à des distances de ces points inversement proportionnelles aux surfaces des triangles ou à leurs bases, ces triangles ayant même hauteur; ainsi, E étant le centre de gravité du trapèze,

$$CE = \frac{CD \times md}{md + nf} = \frac{10 \times 7,04}{7,04 + 3,90} = 6^m,43;$$

on a alors

$$Ef' = 6,43 + 10 = 16^m,43.$$

Le centre de gravité F du triangle krk' est situé à une distance de la ligne kk' égale à $\frac{9,45}{3} = 3^m,15$, et celui G du triangle $k'rq$,

à une distance de cette même ligne égale à $2 \times \frac{9,45}{3} = 6^m,30$.

Comme pour le cas précédent, H étant le centre de gravité du trapèze $rqk'k$, on a

$$HF' = \frac{3,15 \times 11,51}{11,51 + 8,13} = 1^m,85,$$

et par suite

$$HT = 3,15 + 1,85 = 5^m,00.$$

Il faut maintenant déterminer à quelle distance de kk' se trouve le centre de gravité L du triangle $kk'o'$. La surface de ce triangle est égale à celle du trapèze $bk'k'g$ moins celle du triangle bkf , c'est-à-dire à $195,38 - 124,21 = 71^m,17$; la base kk' de ce triangle étant $8^m,13$, sa hauteur est $\frac{71,17}{4,065} = 17^m,51$. On a donc

$$LT = \frac{17,51}{3} = 5^m,84, \text{ et par suite } LI' = 5,00 + 5,84 = 10^m,84.$$

Le centre de gravité P du pentagone $krqk'o'$ se trouve entre L et H', à des distances de ces points qui sont en raison inverse des surfaces du triangle $kk'o'$ et du trapèze $krqk'$, de sorte qu'on a

$$HP = \frac{10,84 \times 71,17}{71,17 + 92,93} = 4^m,70,$$

et

$$PT = 5,00 - 4,70 = 0^m,30.$$

La distance moyenne de transport est

$$Ef' + bk + TP = 16,43 + 33,57 + 0^m,30 = 50^m,30,$$

Tous ces calculs peuvent être abrégés en faisant la figure à une échelle plus grande, ce qui permet, lorsqu'on n'a pas besoin d'une évaluation rigoureuse, de prendre les longueurs à l'échelle sans les calculer, et même de fixer à vue d'œil la position des centres de gravité.

A l'aide du dessin des profils et d'un des tableaux, pages 597 et 601, on peut se rendre compte exactement des quantités de terre à transporter longitudinalement, et plus ou moins approximativement de la distance moyenne de transport, sans qu'il soit nécessaire de faire le tableau graphique.

497. *Influence des rampes sur les distances de transport.* Il est évident qu'une rampe ascendante du déblai au remblai augmente le travail, puisque, outre le travail dépensé pour le transport horizontal, il faut encore élever les matériaux. Des ingénieurs admettent que le travail est le même pour monter un rampe de $20^m,00$ de base sur $2^m,50$ de hauteur (inclinée au $1/8$), que pour parcourir une distance horizontale de 30 mètres. La pente $1/8$ exigeant un travail au dessus des forces de l'homme, il convient d'adopter, comme dans les travaux du génie militaire, une rampe au $1/12$, et de considérer comme équivalent de la distance horizontale 30 mètres, une rampe de 20 mètres de base sur seulement $1^m,65$ de hauteur. Ainsi, considérant que pour s'élever de la hauteur H, il faut parcourir une rampe de $12H$ de base, comme 20 mètres de cette rampe équivalent à 30 mètres de transport horizontal, un mètre équivaut à $1^m,50$, et les $12H$, à $12H \times 1,50 = 18H$, ce qui revient à ajouter $6H$ à l'espace réellement parcouru horizontalement, cet espace horizontal ne doit pas être moindre que $12H$; dans le cas où un chemin direct donnerait un espace moindre, on adopterait un chemin composé de deux ou plus, si cela était nécessaire, directions se raccordant de manière que l'ouvrier pût facilement passer de l'une à l'autre avec sa brouette.

Soit ABCD, figure 23, planche III, une fouille dont les terres sont destinées à former le cavalier EFHI, G le centre de gravité de la fouille, G' celui du remblai et h, h' les distances verticales de ces centres de gravité à l'horizontale AI. Pour amener au point D les terres de la fouille, il faut développer le même travail

que si toute la masse était concentrée au point G ; par conséquent le travail développé est le même que pour transporter la masse à une distance horizontale égale à $18h$. ; par la même raison , le travail développé pour amener les terres depuis le point E jusqu'aux différents points du cavalier est le même que pour parcourir un espace horizontal égal à $18h'$; le travail total produit équivaut donc à un transport horizontal à une distance $18(h+h') + DE$. On est obligé de laisser des rampes pour élever les terres, soit de l'intérieur de la fouille au point D, soit du point E aux différents points du cavalier ; comme ces rampes sont ordinairement espacées de 20 mètres entre elles, il en résulte que chacune d'elles reçoit les terres jusqu'à une distance de 10 mètres de chaque côté, ce qui exige encore, pour toute la masse, un transport horizontal à une distance moyenne de 5 mètres ; et comme ce transport se reproduit pour former le cavalier comme pour faire la fouille, il en résulte que l'accroissement total de la distance de transport est de 10 mètres ; par conséquent la distance totale de transport est $18(h+h') + DE + 10^m$.

Soit, même figure, DK et EL deux lignes inclinées au $1/12$; si le sol permet partout la circulation de la brouette, on pourra enlever la portion AKD sans s'astreindre à venir passer sur des rampes espacées de 20 mètres, ce qui diminuera, pour cette portion, la distance de transport de 5 mètres ; on peut produire la même diminution sur le cavalier pour la partie EIL : cette considération n'est pas à négliger quand la fouille est très-large et peu profonde. Quoi qu'il en soit, comme il y a avantage de suivre des rampes, surtout sur les terres remuées, parce que le sol y prenant de la consistance le transport y devient plus facile, dans les circonstances ordinaires du transport en pente, on prend, pour distance horizontale de transport, 18 fois la différence de niveau des centres de gravité de la fouille et du remblai, plus la distance du bord de la fouille au pied du cavalier, plus encore 10 mètres pour le transport normal aux rampes ; de sorte que dans l'exemple précédent, V étant le cube de terre transporté, le travail produit peut être exprimé par $V(18(h+h') + DE + 10)$.

Si le sol allait en s'élevant de A vers I, $h+h'$ exprimerait, comme dans le cas d'un sol horizontal, la différence de niveau des centres

de gravité G et G' ; si au contraire le sol allait en s'abaissant de A vers I, on remplacerait $18(h+h')$ par la somme de la distance horizontale du centre de gravité G au point D et de celle du centre de gravité G' au point E, augmentée de 6 fois la distance verticale du point D au-dessus du centre de gravité G, plus 6 fois la différence positive de niveau du centre de gravité G' et du point E ; c'est également la valeur que l'on substituerait à $18(h+h')$ dans le cas où les lignes GD et G'E seraient inclinées à moins de $1/12$; dans ce dernier cas, on augmenterait la valeur de DE de 6 fois la hauteur verticale du point E au-dessus de D.

Dans les différents cas que nous venons d'examiner, nous avons tenu compte de l'excès de travail dû à une rampe ascendante ; mais nous avons négligé l'effet d'une rampe descendante ; dans le transport à la brouette, comme l'ouvrier fatigue peut-être un peu moins en descendant, mais qu'il fatigue beaucoup plus en remontant, à vide il est vrai, la pente descendante ne peut être très-favorable ; mais dans le transport au moyen du camion, du tombereau ou du waggon, cas où le moteur ne porte pas la majorité de la charge comme avec la brouette, il convient de tenir compte de l'inclinaison (350).

498. *Exécution des fouilles.* Il n'y a guère que des expériences directes qui permettent d'évaluer le prix à assigner à un volume déterminé de fouille ; ainsi il y a des terres qui sont attaquées facilement avec la bêche ordinaire ou le louchet, d'autres ne le sont qu'avec la pioche, de plus dures, avec le pic ; les roches exigent l'emploi des outils du carrier et quelquefois de la poudre.

La terre végétale, le sable et la tourbe sont les seules matières que partout on peut attaquer à peu près aussi facilement avec la bêche ou le louchet ; on admet qu'un ouvrier peut facilement en fouiller et charger en brouette 15 mètres cubes par jour de 10 heures de travail. On admet également qu'un ouvrier peut jeter ces mêmes cubes à 3 ou 4 mètres de distance horizontale, ou à une hauteur verticale de $1^m,65$; cependant ce dernier travail étant un peu plus fatigant, il y a lieu de le payer un peu plus cher.

Dans les travaux du génie militaire, si un homme suffit pour charger une brouette pendant qu'un autre parcourt un relais horizontal de 30 mètres, on dit que la terre est à un seul homme ; si

un homme ne suffit pas, et que, par exemple, pour deux meneurs il faille deux chargeurs et un piocheur, la terre est à un homme et demi; la terre peut être à trois hommes, etc. On conçoit que les prix doivent être différents pour toutes ces espèces de terre.

Afin de se rendre bien compte de la catégorie à laquelle appartient la terre que l'on a à fouiller, lorsqu'il s'agit de fixer le prix à accorder aux entrepreneurs, on fait piocher un certain volume de terre, en l'amenant à l'état de pouvoir être chargée à la pelle, par un ouvrier choisi par la partie qui doit faire exécuter, et on fait charger cette terre par un ouvrier qui reçoit, lui, ses instructions de l'entrepreneur. Si T est le temps qu'a mis le premier ouvrier pour piocher, et que t soit celui qu'a mis le second pour charger la même terre, il en résulte que $\frac{T}{t}$ est le nombre des piocheurs nécessaires

pour entretenir un chargeur; il faudra donc avoir $\frac{T}{t} + 1 = \frac{T+t}{t}$

ouvriers à la fouille, pour occuper un meneur d'une manière continue, par conséquent la terre est à $\frac{T+t}{t}$ hommes. Il est à remarquer que dans cette expérience chacune des parties intéressées fournissant l'ouvrier qui travaille dans le sens de ses intérêts, l'une et l'autre ont sujet d'être satisfaites.

499. *Transport des terres.* Le transport des terres se fait en les jetant à la pelle lorsque la distance n'est que de quelques mètres (498); mais lorsqu'elle est plus considérable, on fait usage de brouettes, de camions, de tombereaux, de bourriquets et de wagons roulant sur rail-ways (316).

1° *Transport à la brouette.* Les brouettes ont ordinairement 0^m,03 de capacité, c'est-à-dire 1/33 de mètre cube; cependant on en fait dont la capacité atteint 1/20 de mètre cube, et d'autres où elle n'est que de 1/35 de mètre cube.

Dans un chantier bien organisé, il ne faut pas que des ouvriers soient inoccupés pendant que les autres travaillent. Pour une terre facile, un ouvrier chargeant 15 mètres cubes de terre en 10 heures de travail, c'est-à-dire en 36000 secondes, pour charger une brouettée de 0^m,03 cube, il emploiera $\frac{36000 \times 0,03}{15} = 72'' = 1'12''$.

Un meneur parcourant 30000 mètres dans une journée de 10 heures de travail, c'est-à-dire en 36000'', en 72'' il parcourra une distance de $\frac{30000 \times 72}{36000} = 60$ mètres. Comme cette distance com-

prend une allée et une venue, il en résulte que l'étendue d'un relais ne sera que de 30 mètres; c'est l'étendue généralement adoptée, et qui paraît la plus favorable au travail. Cependant comme il y a des cas où le relais ne peut être réglé à 30 mètres, celui, par exemple, où la distance de transport est moindre que 60 mètres, alors, on règle la capacité de la brouette d'après la distance à parcourir; ainsi le relais étant de 50 mètres, ce qui fait une distance de 100 mètres pour l'allée et la venue, l'ouvrier parcourant toujours 30000 mètres en 10 heures, il parcourra un relais en $\frac{36000 \times 100}{30000} = 120'' = 2'$; pendant ce temps, le chargeur placera

dans la brouette $\frac{15 \times 2}{600} = 0,05 = 1/20$ de mètre cube de terre,

contenu dont la brouette devra être capable. Par un calcul semblable, on trouverait que le relais étant de 28 mètres, le contenu de la brouette ne doit être que de 1/35 à 1/36 de mètre cube.

En nous plaçant dans les conditions ordinaires, un ouvrier transportant, dans sa journée de 10 heures, 15 mètres cubes de terre à une distance de 30 mètres, il en résulte que si sa journée lui est payée 1 fr. 50 cent., le transport d'un mètre cube à 30 mètres sera de 0 fr. 10 cent.; à 60 mètres il faudrait un second rouleur, et le prix deviendrait 0 fr. 20 cent.; à 90 mètres ce prix serait 0 fr. 30 cent., et ainsi de suite, le prix croissant comme la distance. Si on voulait avoir le prix total de la fouille et du transport, il suffirait d'ajouter à chacun des prix précédents le 1/15 de la journée de l'homme ou des hommes qui, employés à la fouille, entretiennent le rouleur.

2° *Transport au camion.* Le camion est un petit tombereau ordinairement traîné par trois hommes, et pouvant contenir, alors, 0^mcu,20 de terre.

S'il n'y avait pas de temps d'arrêt, le camion parcourrait 30000 mètres en 10 heures; et comme il faut compter sur 50 à 60'', soit 0^h,02 pour s'atteler au camion, le décharger et le remettre en

marche, il en résulte que le temps employé pour transporter le contenu $0^{\text{m}^{\text{cu}}},20$ du camion à une distance de 30 mètres est

$$0,02 + \frac{10 \times 30 \times 2}{30000} = 0^{\text{h}},04.$$

Pour transporter un mètre cube à la même distance, il faudra donc

$$\frac{0,04 \times 1}{0,2} = 0^{\text{h}},2.$$

Si la distance de transport est de 60 mètres, le transport d'un camion exigera

$$0,02 + \frac{10 \times 60 \times 2}{30000} = 0^{\text{h}},06,$$

ce qui fait $\frac{0,06}{0,2} = 0^{\text{h}},3$ par mètre cube.

À une distance de 90 mètres, ces temps seraient respectivement $0^{\text{h}},08$ et $0^{\text{h}},4$.

Supposant, comme avec la brouette, que chaque ouvrier gagne 1 fr. 50, ce qui fait $\frac{1}{2}$ fr. 50 pour la journée des trois rouleurs, ou 0 fr. 45 par heure, il en résulte que le prix du transport d'un mètre cube à 30^m, 60^m, 90^m, est respectivement 0 fr. 09, 0 fr. 135 et 0 fr. 18; ce qui fait voir que l'avantage du camion sur la brouette croît avec la distance. Ces prix font voir aussi que, même à 30 mètres, il y a avantage à employer le camion au lieu de la brouette (1°); cependant on n'en fait pas usage pour des distances de moins de 100 mètres.

Un ouvrier chargeant 15 mètres cubes de terre en 10 heures, deux ouvriers mettront $\frac{10 \times 0,2}{15 \times 2} = 0^{\text{h}},067$ pour charger le contenu $0^{\text{m}^{\text{cu}}},2$ du camion; ce temps, comparé à celui de $0^{\text{h}},08$, que mettent les rouleurs pour parcourir un relais de 90 mètres, fait voir que, pour une terre aussi facile, on pourrait à la rigueur fixer le relais à moins de 90 mètres; cependant il convient de le fixer à 100 mètres, afin de soulager les chargeurs, qui fatiguent évidemment plus pour jeter la terre sur un camion que sur une brouette.

3° *Transport au tombereau.* Pour transporter les terres à une grande distance, on fait usage de tombereaux, qui sont ordinairement attelés d'un cheval et ont, alors, une capacité de $0^{\text{m}^{\text{cu}}},50$; dans quelques localités on les fait plus grands.

Le temps nécessaire au transport au tombereau peut se diviser en trois parties distinctes :

- 1° *Le temps nécessaire au chargement;* en supposant toujours qu'un homme puisse charger 15 mètres cubes de terre en 10 heures de travail, si on représente par C la capacité du tombereau, et par N le nombre des chargeurs, ce temps sera $\frac{10 \times C}{15 \times N}$. Le nombre N ne doit pas dépasser 3, car autrement les chargeurs se gêneraient, et il comprend le conducteur, qui travaille comme chargeur.
- 2° *Le temps nécessaire au mouvement;* un cheval attelé à un tombereau parcourant 30,000 mètres en 10 heures, pour parcourir R relais de 30 mètres, il mettra $R \frac{10 \times 60}{30000} = R \times 0,02$ heures.
- 3° *Le temps nécessaire au déchargement et à la mise en marche du tombereau;* ce temps est évalué à $0^{\text{h}},033$.

Ayant ces différents temps pour une capacité C de tombeau, pour avoir ceux nécessaires au transport d'un mètre cube de terre, il suffit de multiplier ces premiers par le rapport d'un mètre cube à la capacité C, et en faisant la somme des valeurs obtenues, on aura le temps T nécessaire au transport d'un mètre cube à R relais; ainsi,

$$T = \frac{\frac{10 \times C}{15 \times N} + R \times 0,02 + 0,033}{C}$$

Supposant $N = 3$, $R = 3$ et $C = 0^{\text{m}^{\text{cu}}},50$, cette formule donne $T = 0^{\text{h}},408$. La journée d'un cheval et de son conducteur étant payée 6 francs, et celle de chacun des deux chargeurs 1 fr. 50 cent., ce qui fait une dépense de 9 francs par jour ou de 0 fr. 90 cent. par heure, le transport du mètre cube de terre à 3 relais revient à $0^{\text{f}},90 \times 0,408 = 0^{\text{f}},3672$, prix beaucoup plus élevé qu'avec la brouette et le camion (1° et 2°).

Un travail organisé ainsi que nous venons de le supposer serait vicieux, puisque les deux chargeurs se reposeraient pendant toute la durée du mouvement et de la décharge du tombereau; pour

éviter cela, il faut employer deux tombereaux, l'un est en charge pendant que l'autre va à la décharge; de cette manière, le travail journalier du second tombereau, travail égal à celui du premier, ne doit être évalué qu'à 6 francs, ce qui donne, pour prix du transport d'un mètre cube de terre à 3 relais, $0,60 \times 0,408 = 0,2448$; la moyenne du prix d'un mètre cube à 3 relais est donc pour les deux tombereaux

$$\frac{0,3672 + 0,2448}{2} = 0,306.$$

Pour que les chargeurs ne perdent pas de temps, il suffit que le nombre R de relais soit tel, que le temps de la charge soit égal au temps employé au mouvement et à la décharge, et que l'on ait par conséquent

$$\frac{10 \times C}{15 \times N} = R \times 0,02 + 0,033,$$

d'où l'on tire, pour le cas où $C = 0^{\text{m}},50$ et $N = 3$, $R = 3,9$ relais; dans le cas où il n'y a qu'un chargeur avec le conducteur, ce qui fait $N = 2$, cette formule donne $R = 6,7$ relais.

Dans le transport au tombereau, les rampes ne doivent être inclinées qu'au $1/20$, et on ne prend tout de même pour l'équivalent d'un relais horizontal de 30 mètres, qu'une portion de rampe de 20 mètres de base, et par conséquent de 1 mètre de hauteur (497).

4° *Transport au bourriquet.* Lorsqu'on a à élever des terres verticalement, on peut placer des ouvriers à des étages différents espacés de $1^{\text{m}},65$, et compter que chaque ouvrier, en 10 heures de travail, peut jeter 15 mètres cubes de terre d'un étage à l'étage supérieur. On peut aussi disposer des rampes s'élevant de $1^{\text{m}},65$ pour 20 mètres de base, ce qui équivaut à un relais horizontal de 30 mètres; ces deux manières d'opérer font voir que l'on doit adopter la hauteur verticale $1^{\text{m}},65$ pour relais.

Dans un grand nombre de cas, on est obligé d'élever les terres tout à fait verticalement; on fait alors usage d'un treuil, que l'on nomme bourriquet. L'arbre du treuil a ordinairement $0^{\text{m}},20$ de diamètre et $1^{\text{m}},00$ de longueur; la manivelle a $0^{\text{m}},40$ de rayon,

le diamètre de la corde est de $0^{\text{m}},03$; la caisse ou panier destiné à recevoir les terres à élever a $0^{\text{m}^3},033$ de capacité.

Le panier mettant 20 secondes ou $0,00556$ pour s'élever de 5 mètres, pour s'élever d'un relais il mettra $\frac{0,00556 \times 1,65}{5} = 0,00183$; comme il descend de 5 mètres en 15 secondes ou $0,00417$, la descente d'un relais durera $\frac{0,00417 \times 1,65}{5} = 0,00138$.

De ces nombres, comme de plus il faut $20'' = 0,00556$ pour décrocher un panier plein et en accrocher un vide, et $25'' = 0,00695$ pour vider le panier, il résulte que pour élever le contenu $0^{\text{m}^3},033$ du panier à une hauteur de R relais, il faudra un temps représenté par

$$t = R(0,00183 + 0,00138) + 0,00556 + 0,00695 \text{ heures};$$

si on a $R = 3$, par exemple, on conclut $t = 0,02214$.

Le temps nécessaire pour élever un mètre cube est $T = \frac{t \times 1}{0,033}$

et quand $R = 3$, on a $T = \frac{0,02214 \times 1}{0,033} = 0,671$.

Pour manœuvrer une telle machine il faut 5 hommes: 1 pour remplir le panier, 2 pour tourner les manivelles, et deux autres pour décrocher le panier et le vider; ces 4 derniers alternent leur travail. Supposant que la journée d'un ouvrier est payée 1 fr. 50, ce qui fait 0 fr. 75 cent. pour une heure de 5 ouvriers, chaque mètre cube de terre élevé à 3 relais coûtera $0,75 \times 0,671 = 0,503$.

Trois ouvriers étagés à $1^{\text{m}},65$ l'un au-dessus de l'autre suffiraient pour élever, à l'aide de la pelle, 15 mètres cubes de terre par jour; l'élévation de ces 15 mètres cubes coûterait donc 4 fr. 50 cent., ce qui ne ferait que 0 fr. 30 par mètre cube, il faut donc, quand il est possible, préférer ce mode à l'usage du bourriquet.

5° *Transport par chemins de fer.* Au chemin de fer de Saint-Germain, pour les tranchées des Batignolles, les waggons étant remorqués par des chevaux et la distance de transport étant de 1000 à 1500 mètres, le prix du transport de 1 mètre cube à 1000 mètres s'est divisé en :

	fr.
Transport proprement dit.	0,20
Réparation et graissage des waggons.	0,08
Dépréciation.	0,03
Total.	0,31

La décharge est revenue, par mètre cube, y compris les chevaux qui conduisaient les waggons de la gare la plus voisine à la décharge, à 0 fr. 13 cent.

La distance de transport étant de 3000 mètres, on a fait usage de locomotives, et le prix du transport d'un mètre cube à 1000 mètres s'est divisé en :

	fr.
Transport proprement dit, c'est-à-dire salaire des mécaniciens, combustible et réparations.	0,10
Réparation des waggons.	0,24
Dépréciation des waggons.	0,03
Total.	0,37

La décharge des waggons est revenue, par mètre cube, à :

	fr.
Chevaux employés à traîner les waggons du point où les déposaient les locomotives jusqu'à la décharge et les ramener.	0,18
Ouvriers	0,08
Total.	0,26

Ainsi, sous le point de vue de l'économie, il y aurait avantage à remorquer les waggons par les chevaux; mais les travaux s'exécutent avec moins de rapidité.

Nous allons donner un aperçu de la manière dont se sont divisées les dépenses de la tranchée de Clamart, chemin de fer de Versailles (rive gauche), d'après les séries de prix établies par M. Brabant. Les nombres qui suivent sont extraits du portefeuille de l'ingénieur des chemins de fer, de MM. Perdonnet et Polonceau.

Le cube total des déblais était de 378000 mètres cubes; mais comme les $\frac{3}{4}$ seulement ont été transportés d'un même côté de la tranchée, à une distance supérieure à 1000 mètres, les prix suivants sont établis dans l'hypothèse d'un volume de 300000 mètres à transporter à une distance de 1000 mètres.

L'accélération des travaux a dû faire sacrifier l'argent pour économiser le temps (les travaux devant être terminés en 20 mois, il a fallu effectuer un transport de 600 mètres cubes par journée de 10 heures de travail).

Les waggons contenaient 1^m^c,50 de terre et descendaient pleins un chemin incliné de 0^m,004 par mètre. Trois chevaux en remorquaient 10 à la vitesse de 25000 mètres par jour, et une locomotive dont les pistons avaient 0^m,25 de diamètre en traînait 20 à la vitesse de 100000 mètres par jour de 10 heures.

On a compté pour le temps perdu à la charge et à la décharge 10 minutes par voyage, quels que soient le mode de traction et la distance de transport.

Le transport s'effectuant avec des chevaux, il a fallu, pour 600 mètres cubes à transporter par jour, 150 waggons (80 à la charge et décharge, 40 sur la voie, 10 à la réserve et 20 en réparation). Avec les locomotives, il a fallu 132 waggons (80 en charge et décharge, 20 sur la voie, 10 en réserve, 20 en réparation et 2 waggons intermédiaires). Le nombre des locomotives doit être double de celui nécessaire; ainsi, pour une que l'on avait en marche, il en fallait une seconde en réserve ou en réparation.

Prix du transport d'un mètre cube de déblais à une distance de 1000 mètres, sur un chemin dont la pente est de 0^m,004 par mètre, les waggons étant remorqués par des chevaux.

<i>Intérêt à 5 pour 100 de 375000 fr. qu'a coûté le matériel d'exploitation, et dépréciation de ce matériel.</i>	<i>fr.</i> 0,4625
<i>Entretien du matériel.</i>	0,2000
<i>Le matériel d'exploitation comprend 150 waggons de terrassement à 650 fr. pièce, 3000 mètres de doubles voies en fer à 80 fr., 40 changements de voies provisoires à 225 fr. pièce, hangar, bâtiment, outils, 2 échafauds de décharge.</i>	
<i>Pose, démontage et entretien des voies provisoires.</i>	0,0873
<i>Transport des déblais.</i>	0,3246

Ce transport exige 8 chevaux, payés 48 fr. par jour, pour conduire les waggons au point où ils doivent être pris par les chevaux chargés du transport; 3 chevaux et 2 conducteurs, payés 24 fr. par jour, par chaque 10 waggons portant 15 mètres cubes de terre à 25000 mètres par jour; 10 minutes de temps perdu (temps pendant lequel les 3 chevaux et les con-

A reporter. 1,0744

Report.	1,0744
ducteurs ne marchent pas); 12 ouvriers pour pousser et décrocher les waggons, 30 fr. par jour; aiguilleurs, nettoyeurs de rails et graisseurs, 12 ouvriers payés 24 fr. par jour.	
Fouille et charge.	0,6000
Reprises et jets à la pelle ou transports en brouettes nécessaires pour charger en waggons.	0,3000
Déchargement et manœuvre des ponts de décharges, 24 ouvriers, 84 fr. par jour.	0,1400
Dépenses diverses (manœuvres pour travaux divers, 16 ouvriers à 40 fr. par jour; surveillants et gardiens, 10 employés à 30 fr.).	0,1167
Total.	2,2311

Pour un supplément de transport à 1000 mètres, l'excès de dépense n'est que de 0^r,0402.

Sur un chemin horizontal, au lieu de 3 chevaux pour conduire 10 waggons, il en faudrait 5, ce qui porterait le prix du mètre cube transporté à 1000 mètres à 2^r,3085, et l'excès par 1000 mètres de distance en plus, à 0^r,0467.

Si le chemin montait de 0^m,004 par mètre, il faudrait 8 chevaux et 2 conducteurs payés 54 francs par jour, ce qui porterait les prix précédents à 2^r,4243 et 0^r,0564.

Quand les waggons sont remorqués par une locomotive, il faut 132 waggons, 2 locomotives du prix de 33000 francs pièce, 12 chevaux pour amener les waggons au point où la locomotive peut les prendre; la locomotive, estimée être de la force de 10 chevaux, produit une dépense journalière évaluée à 101 francs. Ces diverses dépenses font que le prix du transport d'un mètre cube à 1000 mètres est de 2^r,3005 sur un chemin descendant de 0^m,004 par mètre, 2^r,3728 sur un chemin horizontal, et 2^r,5137 sur un chemin dont la pente ascendante est de 0^m,004 par mètre. Pour ces divers chemins, l'augmentation de dépense pour un excès de 1000 mètres de distance de transport est respectivement 0^r,0344, 0^r,0391 et 0^r,466.

En effectuant le transport par plans automoteurs, ce qui est nécessaire toutes les fois que les déblais doivent être descendus à une grande profondeur, il faut le même nombre de waggons qu'avec des chevaux, 12 conducteurs de waggons et 15 chevaux; et le prix du transport du mètre cube à une distance de 1000 mètres est de

2^r,2861. Ce prix a été établi dans l'hypothèse où le plan automoteur a 200 mètres de longueur et 0^m,05 de pente par mètre; cela suffit pour que les waggons acquièrent une impulsion nécessaire pour parcourir ensuite une distance de 800 mètres; ils pourraient même franchir un espace plus long; mais alors il faudrait leur laisser prendre sur le plan une vitesse qui serait dangereuse.

D'après les résultats précédents, et en supposant qu'un tombeau attelé de 2 chevaux serait payé 14 francs par jour de 10 heures, y compris le conducteur, que le temps perdu à la charge et à la décharge serait de 1/40 de jour, que deux chevaux pourraient traîner 0^{mcu},80 ou 1^{mcu},00 de terre en parcourant 36000 mètres par jour, selon que le chemin serait en terre ou serait une route bien entretenue, MM. Perdonnet et Polonceau ont établi le tableau suivant :

TABLEAU du prix de revient du transport d'un mètre cube de déblais à une distance de 1000 mètres sur des chemins horizontaux.

DISTANCES des transports.	TRANSPORT AU TOMBEREAU		TRANSPORT EN WAGGONS trainés par des	
	sur chemins en terre.	sur routes entretenuës.	chevaux.	locomotives.
m.	fr.	fr.	fr.	fr.
1000	2.2195	1.7580	2.3085	2.3728
1500	2.7955	2.1470	2.5420	2.5783
1600	2.9107	2.2248	2.5887	2.6174
1700	3.0259	2.3026	2.6354	2.6565
1800	3.1411	2.3804	2.6821	2.6956
1900	3.2563	2.4582	2.7288	2.7347
2000	3.3715	2.5360	2.7755	2.7738
3000	4.5235	3.3140	3.2425	3.1648
4000	5.6755	4.0920	3.7095	3.5508
4500	6.2515	4.4810	3.9430	3.7513
4600	6.3667	4.5588	3.9897	3.7904
4700	6.4819	4.6366	4.0364	3.8295

Ce tableau fait voir que sous le rapport de l'économie l'usage

des waggons n'est plus avantageux que celui des tombereaux, que pour des volumes de déblais considérables et pour une distance de transport supérieure à 1000 mètres; cependant on y a souvent recours pour des distances moindres, parce que les chemins en terre sont impraticables avec des tombereaux par les temps humides, au lieu qu'avec des waggons et des voies en fer, on est rarement obligé d'interrompre les travaux.

Il convient d'observer que l'on peut diminuer notablement les prix du tableau précédent, quand les circonstances n'exigent pas, comme dans la vallée de Clamart, une exécution aussi rapide.

500. *Construction des chaussées.* Tous les déblais et remblais étant effectués, on procède à la construction de la chaussée, c'est-à-dire de la partie solide de la route. On commence par creuser la forme qu'elle doit occuper, en jetant, à la pelle, les terres de part et d'autre, sur chacun des accotements, comme l'indique la figure 24, planche 111; il est évident que si la route était en remblai, on ménagerait à l'avance cette forme.

501. *La chaussée étant pavée*, on calcule la profondeur de l'encaissement d'après la hauteur des pavés, et l'épaisseur de 0^m,10 à 0^m,15 que l'on donne à la couche de sable sur laquelle on les pose, quelles que soient leur nature et leur forme, afin de répartir la charge que chaque pavé peut avoir à supporter sur une surface plus grande que sa base.

Les pierres que l'on emploie plus particulièrement comme pavés sont le grès, le granit, le basalte, le porphyre, le schiste, le calcaire et les cailloux roulés; à l'exception de ces derniers, que l'on emploie tels qu'on les trouve, pourvu qu'ils aient des dimensions convenables, les pavés faits avec les autres pierres se débitent en cubes dont les dimensions varient de 0^m,16 à 0^m,25.

Dans les rues, le pavé s'étend dans toute la largeur qui sépare les maisons; mais pour les routes, il ne se fait que sur la chaussée, ce qui oblige de le terminer de chaque côté par un rang de pavés plus forts, lesquels, par leur grand empatement, quoique très-faiblement maintenus du côté de l'accotement, ne sont pas renversés par les voitures qui passent de la chaussée sur les accotements.

Aux environs de Paris, les pavés ordinaires ont 0^m,22 de côté,

landis que ceux des bordures ont 0^m,22 × 2 = 0^m,44 de longueur, 0^m,22 × 1,5 = 0^m,33 de largeur, et une épaisseur ordinairement un peu moindre que 0^m,33.

Sur la couche de sable de 0^m,13 environ d'épaisseur étalée sur le fond de l'encaissement qui doit recevoir la chaussée, on place les pavés par rangs perpendiculaires à l'axe de la route, en ayant soin que les joints longitudinaux d'un rang correspondent, autant que possible, au milieu des pavés des rangs voisins. On a la précaution de réunir les pavés de même grandeur et de même dureté.

Avec des pavés cubiques, de 0^m,22 à 0^m,23 de côté, la quantité de sable employée par mètre carré de chaussée est de 0^{m^{cu}},13 pour la forme, 0^{m^{cu}},03 pour les joints, et 0^{m^{cu}},02 pour couvrir le pavage, afin d'achever de remplir les joints; ce qui fait en tout 0^{m^{cu}},18.

Quand, au lieu d'employer des pavés neufs, on fait usage de pavés déjà usés, à la couche de 0^m,13 de sable, on ajoute une épaisseur convenable pour tenir toujours la surface de la chaussée à la même hauteur.

Il ne faut pas que les pavés se touchent; aussi, à cause du bombardement assez fréquent de leurs faces, les joints ont-ils de 0^m,02 à 0^m,025 d'épaisseur; on prescrit ordinairement de ne leur donner que de 0^m,007 à 0^m,008; mais pour atteindre ce but on serait obligé de tailler les pavés, ce qui est coûteux et ne peut se faire que dans des cas particuliers.

Lorsque deux rues très-fréquentées se croisent, pour que les roues des voitures ne suivent pas les joints des rangs parallèles de pavés, on place ces rangs parallèlement à l'axe du carrefour.

Avant de livrer une rue à la circulation, on affermit chaque pavé dans son alvéole et on l'amène au niveau convenable en le frappant avec une hie du poids de 40 à 50 kilog.; c'est seulement après cette opération que l'on recouvre le pavage de la dernière couche de sable de 0^m,02 d'épaisseur.

Dans les rues où il y a un ruisseau au milieu de la chaussée, si on plaçait un joint au milieu du ruisseau, il serait promptement creusé par les roues des voitures qui tendent naturellement à le suivre. Pour remédier à cet inconvénient, on a imaginé de placer chacun des pavés qui forment le ruisseau de manière qu'un tiers

de sa largeur se trouve d'un côté de l'axe du ruisseau, et les deux autres tiers de l'autre côté; cette disposition, qui réussit à la campagne, ne convient pas dans les villes, où les petits barrages successifs que forment les pavés retiennent les eaux ménagères, lesquelles se corrompant répandent une mauvaise odeur. Il convient dans ce cas de former le ruisseau avec des pavés d'une longueur égale à une fois et demie celle d'un pavé ordinaire, dont la face supérieure est taillée concave et de manière que l'axe se trouve au tiers de sa longueur.

Dans les localités où on fait usage de cailloux roulés pour le pavage des rues, on les dispose comme les pavés cubiques, en plaçant le gros bout en bas, afin qu'ils ne s'enfoncent pas sous les charges qu'ils ont à supporter. Afin d'obtenir un pavé plus uni, on place quelquefois le gros bout en haut, mais en inclinant les pavés; malgré cette inclinaison, le pavage est moins solide que par la première disposition.

Les vides étant beaucoup plus grands entre les cailloux roulés qu'entre les pavés cubiques, leur mise en œuvre absorbe un plus grand volume de sable que celle de ces derniers.

On juge de la qualité des pavés :

- 1° Par la densité; celle des pavés en grès des environs de Paris est de 2,540, au lieu que celle des grès tendres de Fontainebleau n'est que de 2,390;
- 2° Par la quantité d'eau qu'ils absorbent quand ils sont immergés; les plus durs absorbent 1/569 d'eau, et les plus tendres 1/51;
- 3° Par le son qu'ils rendent sous le choc du marteau; ce son est d'autant plus lourd qu'ils sont plus tendres ou plus fendillés.

502. *Pour les chaussées en empièrrement*, si le sol est peu résistant, on commence par placer sur tout le fond de l'encaissement de la chaussée une assise de pierres plates, pour servir de fondation et empêcher les petites pierres de pénétrer dans le sol. Sur ces pierres plates, on repose les bases de pierres, autant que possible, coniques et de 0^m,15 à 0^m,20 de hauteur, et sur ces dernières on place les pierres concassées, qu'il est bon de répandre par couches que l'on comprime au fur et à mesure avec une hie ou un rouleau en fonte, afin qu'elles s'enchevêtrent bien les unes dans les autres et dans les aspérités des pierres coniques. On peut encore comprimer les couches successives de pierres en faisant passer dessus les

voitures de roulage. Il faut avoir soin de refermer les ornières au fur et à mesure qu'elles se forment.

Quand le sol est déjà résistant par lui-même, on se dispense de l'assise de pierres plates; on repose directement sur le sol les bases des pierres coniques, que l'on choisit avec le plus d'emplacement possible, et dessus on place les pierres concassées comme dans le premier cas.

Ces chaussées sont maintenues latéralement par deux rangs de bordures en fortes pierres prismatiques. Ces bordures se placent de manière que leurs arêtes latérales soient parallèles à l'axe de la route; il convient que ces prismes soient triangulaires, afin que, reposant par une face latérale, ils présentent en haut une arête, laquelle ne produit pas l'effet d'une enclume pour briser les petites pierres sous les roues des voitures, comme le ferait une surface plane; cette dernière circonstance oblige de faire reposer les bordures par une arête, lorsque leur forme est un prisme à base carrée. Ces bordures se maintiennent du côté des accotements par un bourrelet en pierres dont la grosseur diminue depuis le bas jusqu'en haut.

Quand le sol est solide et que le poids des voitures n'est pas très-considérable, toute la chaussée n'est formée que de petites pierres semblables à celles employées pour former la dernière couche dans les cas précédents; c'est surtout dans ce cas qu'il faut avoir soin de comprimer la chaussée avant de la livrer à la circulation.

L'épaisseur des chaussées construites uniquement en petits matériaux varie de 0^m,15 à 0^m,30, suivant la nature du sol et le poids des voitures; celle des chaussées à un rang de pierres coniques varie de 0^m,30 à 0^m,35, et celle à deux assises de grosses pierres, de 0^m,40 à 0^m,45.

Les meilleures pierres employées à la construction des chaussées sont celles qui résistent à la gelée; qui sont anguleuses, afin qu'elles se relient facilement; qui sont dures, mais non au point de ne pouvoir former les détritiques nécessaires à leur liaison; celles qui remplissent le mieux toutes ces conditions sont le muschelkalk, le calcaire dur, le silex anguleux non fragile.

Les petites pierres doivent pouvoir passer dans tous les sens

dans un anneau de 0^m,06 de diamètre ; elles doivent être purgés de terre , car celle-ci par les temps de pluies et surtout de gelée et de dégel se gonfle et désunit les matériaux qui composent la chaussée.

Les pierres concassées fournissent facilement les débris nécessaires à leur liaison , mais lorsqu'on fait usage de gros gravier, qui ne forme que très-difficilement des débris, on est obligé d'y mélanger une certaine quantité de sable ; ou de briser à l'avance les plus gros galets.

Le volume des vides est les 0,38 du volume total pour le gravier , et les 0,47 pour les pierres concassées ; aussi , après le tassement complet, un mètre cube est-il réduit ordinairement à 0^m^{cu},71. Quelques ingénieurs ont imaginé de remplir les vides au moment de la construction à l'aide de petit gravier et même de débris.

503. *Chaussée sur un sol compressible ou mouvant.* Lorsqu'une route traverse un sol tourbeux ou vaseux , d'une certaine profondeur, il convient de la reposer sur deux assises de fascines se croisant à angle droit , et s'étendant de part et d'autre des remblais , que l'on a soin de choisir les plus légers possible.

Ces fascines , tout en diminuant les chances d'enfoncement de la route et les affaissements partiels, ont encore l'avantage de la maintenir plus sèche.

Une route construite sur un sol glaiseux est sujette à des changements de forme par suite de son glissement sur la glaise humide ; on évite cet inconvénient en construisant des *pierrés*, petits canaux formés de deux petites murettes en pierres sèches , que l'on recouvre d'une large pierre plate. Ces canaux , auxquels on donne de 0^m,10 à 0^m,20 de largeur, partent de la forme de la chaussée , et viennent aboutir aux fossés en passant sous les accotements. Si la route est en pente, les *pierrés* partent de la forme et vont aboutir aux fossés par la ligne de plus grande pente. Si la route est horizontale, on dispose longitudinalement la forme en pente et contre-pente, et à chaque point bas on établit un *pierré* normal à l'axe de la route. Ces *pierrés*, en maintenant la route sèche, ont l'avantage d'empêcher la glaise de se détremper et par suite de se prêter au glissement (329).

504. *Cassis.* Lorsqu'une route traverse un vallon à fleur du sol , et que ce vallon ne fournit des eaux qu'accidentellement, on fait passer les eaux sur la route , mais en ayant soin de la paver de part et d'autre de la ligne basse, jusqu'au-dessus du niveau que peuvent atteindre les eaux ; par cette disposition les eaux ne peuvent pas attaquer la route. Il faut que ce ruisseau transversal, que l'on appelle *cassis*, ait, sur la route, une pente assez grande pour que les eaux n'y laissent pas déposer le limon qu'elles entraînent.

505. *Écharpes.* Nous avons déjà dit qu'afin d'éviter que les eaux pluviales ne suivent les frayés des roues, on donnait à la route une pente transversale ; mais cela ne suffit pas dans le cas où la route a une forte pente longitudinale et qu'elle est sujette à être souvent mouillée. Dans ce cas, on force l'eau à s'écouler latéralement, en établissant des bourrelets en petits matériaux sur la surface de la route. Ces petites digues, que l'on appelle *écharpes*, ont transversalement une pente très-douce du côté d'aval, afin de ne pas former des obstacles trop difficiles à franchir par les voitures ; du côté d'amont, on leur donne une pente d'environ 0^m,05 en sens contraire de celle de la route.

Longitudinalement, les *écharpes* partent de l'axe de la route, et sont dirigés suivant la ligne de plus grande pente de la surface de la route. Pour déterminer cette ligne de plus grande pente, on prend sur l'axe de la route le point A, duquel doit partir l'*écharpe*, on trace une ligne AB dirigée suivant l'axe de la route et une autre AC normale à AB ; sur ces lignes on prend deux points qui soient de niveau, c'est-à-dire, à une même distance verticale au-dessous du point A ; on joint ces deux points par une ligne, qui est horizontale et placée sur la surface de la route, on abaisse du point A une perpendiculaire à cette horizontale, et cette perpendiculaire est la ligne de plus grande pente.

Si la route est bombée, l'*écharpe* a la forme d'un chevron, et si elle n'a qu'une même pente transversale, l'*écharpe* est tout entière placée dans la même direction, et elle est alors véritablement une *écharpe*.

506. *Fossés en gradins.* Lorsque les fossés sont construits dans un sol affouillable et qu'ils ont une forte pente, afin de diminuer la

vitesse des eaux, on dispose les fossés en gradins, en construisant en pierres sèches des murs de chute pour retenir les terres, et des enrochements au pied de ces murs pour éviter les affouillements.

507. *Entretien des routes pavées.* Cet entretien se fait par relevés à bout, et par *entretien simple*.

1° *Un relevé à bout* consiste à enlever tous les pavés, pour découvrir complètement une certaine étendue de la forme; à piocher cette forme pour lui rendre son élasticité; à enlever le sable qui est devenu terreux; à rapporter du nouveau sable pour compenser celui rejeté, ainsi que l'usure des pavés, afin de replacer la surface du pavage au niveau primitif; et à reconstruire la chaussée comme si elle était neuve, en ayant soin de mettre au rebut tous les pavés de mauvaise qualité, et ceux auxquels l'usure a donné des formes défectueuses ou des dimensions trop faibles.

A Paris, tous les pavés ayant moins de 0^m,16 d'épaisseur sont rebutés, et ordinairement ce rebut s'élève à 1/8.

On commence le relevé à bout par deux rangs de pavés neufs, afin de marquer le point où commence le travail; puis on place tous les pavés vieux, en ayant soin de réunir, autant que possible, ceux de mêmes dimensions et de même dureté; on termine ensuite le travail par des pavés neufs. Si le relevé à bout avait une certaine étendue, afin d'éviter le transport des pavés vieux, de distance en distance on placerait quelques rangs de pavés neufs.

A Paris, avec des pavés neufs, un mètre carré de relevé à bout exige 0^{mcu},02 de sable pour rafraîchir la forme, 0^{mcu},03 pour les joints et 0^{mcu},02 pour couvrir l'ouvrage, ce qui fait en tout 0^{mcu},07; avec les pavés vieux, outre ces 0^{mcu},07 de sable, il en faut 0^{mcu},03 pour compenser l'usure des pavés.

A Paris, les rues très-fréquentées sont relevées à bout à peu près tous les 6 ans; quelques-unes, établies en mauvais pavés ou sur un sol argileux, le sont tous les trois ans; les moins passagères le sont tous les 20 ans. Les routes des environs de Paris le sont tous les 8 à 15 ans.

2° *L'entretien simple* consiste simplement à remplacer seulement çà et là quelques pavés cassés, ou à relever les parties de pavage enfoncées ou usées. Ce travail exige, avant de replacer les pavés,

que l'on fasse subir à la forme les mêmes opérations que pour un relevé à bout. La quantité de sable employé est ordinairement de 0^{mcu},08 par mètre carré de surface des pavés remplacés et remaniés.

508. *Entretien des chaussées en empierrement. Cantonniers.* La nature des matériaux employés dans ce genre de chaussées exige un entretien de tous les instants. Aussi des ouvriers sont-ils constamment occupés à empêcher l'eau de séjourner sur la chaussée, à enlever la boue et la poussière à mesure qu'elles se forment, et à prévenir les flaches et les ornières. C'est surtout dans les moments de pluie ou de dégel que ces soins sont indispensables à la conservation de la route.

Les ouvriers occupés à l'entretien des routes sont appelés *cantonniers*, chacun d'eux est seul chargé des travaux d'une certaine étendue de route que l'on appelle *canton*. Quand, dans les mauvais temps, ils ne suffisent pas pour tous les travaux, on leur adjoint des ouvriers appelés *auxiliaires*.

Tous les trois cantonniers, il y en a un, appelé *cantonnier chef*, chargé de surveiller ses deux voisins et de les conseiller dans leurs travaux. Le temps perdu à cette surveillance exige que son canton soit moins étendu que ceux de ses voisins.

Tous ces cantonniers, chefs et ordinaires, sont surveillés par les piqueurs, les conducteurs, et les ingénieurs, à des époques non fixées à l'avance, afin que la surveillance soit comme de tous les instants. De petites lunettes permettent aux surveillants de voir, depuis une grande distance, et par conséquent sans être vus, si les cantonniers font leur devoir. Les peines infligées aux cantonniers pris en contravention consistent en retenues de salaire.

Chaque cantonnier plante sur le bord de la route, à côté du point où il travaille, une tige graduée, de 1^m,50 à 2^m,00 de hauteur, à laquelle est fixée une planchette portant le numéro du canton; cela permet au surveillant de voir de suite quel est le cantonnier qui doit travailler dans les environs.

Les outils d'un cantonnier sont: une pelle, une brouette, un racleur en tôle, une houe ou tournée, un cordeau de 20 mètres de longueur avec deux fiches, et une masse à casser les pierres ou les cailloux.

Les cantonniers doivent choisir les temps humides pour rappor-

ter les matériaux sur la route, parce qu'alors ils peuvent enlever facilement la boue, et de plus la surface de la route étant un peu ramollie, sa liaison avec les pierrailles rapportées en est plus facile.

Il faut éviter que la boue et la poussière séjournent sur la route, et avoir soin de les enlever avant de replacer des matériaux, surtout si la route repose sur un sol crayeux ou glaiseux, parce que ces détritrus calcaires pénétrant dans la chaussée, l'eau qui s'y infiltre désunit en se congelant toutes les parties de la chaussée.

PONTS.

509. *Diverses espèces de ponts.* On appelle pont, un ouvrage d'art destiné à réunir les deux portions d'une route interrompue par un cours d'eau ou un ravin.

Lorsqu'un pont n'est supporté que par deux points d'appui espacés de 3 à 4 mètres au plus, il prend le nom de *ponceau*.

Un pont destiné à faire passer un chemin au-dessus d'un autre, ou même d'un vallon dans lequel on ne veut pas le faire descendre, prend le nom de *viaduc*.

Les *ponts-aqueducs* sont ceux qui font passer un cours d'eau au-dessus d'un chemin ou d'une rivière.

Les *ponts-canaux* sont ceux qui supportent un canal de navigation.

Les ponts se divisent encore en *ponts fixes*, ce sont ceux construits à demeure et offrant un passage continu; en *ponts mobiles*, comprenant ceux qui, en restant dans un point déterminé, permettent d'interrompre momentanément le passage; en *ponts volants*, ou ponts que l'on peut déplacer à volonté.

Les ponts se construisent en pierre, en bois, ou en métal.

Les points d'appui extrêmes d'un pont sont appelés *culees*; ceux intermédiaires prennent le nom de *piles* quand ils sont en pierre, et de *palées* quand ils sont en bois. Ce qui sépare deux points d'appui prend le nom de travée si on y a fait usage du bois, et celui d'arche si on a employé la pierre; les petites arches prennent le nom d'arceaux.

PONCEAUX.

510. *Ponceaux.* On les construit ordinairement sur des ruisseaux dont le volume d'eau est très-variable suivant les saisons, et quelquefois même sur des ravins à sec une partie de l'année.

Lorsqu'on a un ponceau à construire, la première chose à déterminer est le *débouché*, c'est-à-dire la distance entre les culées.

Ce débouché doit être suffisant pour débiter les plus grands volumes d'eau qui peuvent se présenter; s'il était trop étroit, ou le ponceau serait emporté, ou l'eau s'élèverait du côté d'amont, se répandrait sur le terrain environnant et pourrait couper la route en passant par-dessus.

Quand il existe déjà des ponceaux en amont ou en aval de celui à construire, leurs débouchés servent de terme de comparaison, et, en ayant égard à la quantité d'eau qui afflue en plus ou en moins sous ce dernier, on peut fixer approximativement son débouché.

S'il n'y avait encore aucun ponceau existant, il faudrait déterminer le volume de l'eau affluente. Pour cela, si le ravin a une section et une pente à peu près uniforme sur une certaine longueur, et si on connaît le niveau des plus hautes eaux, à l'aide de la formule du n° 110, en adoptant pour les coefficients *a* et *b* les valeurs d'Eytelwein, on déterminera la vitesse *v* en mètres par seconde, et cette vitesse multipliée par la section des eaux donnera le volume d'eau affluent par seconde. Ayant ce volume, on fixera le débouché de manière que la vitesse de l'eau sous le pont ne soit pas assez grande pour attaquer le fond (111) (112).

Quand le niveau des grandes eaux ne sera pas connu et que la pente et la section du ravin ne seront pas assez régulières pour appliquer la formule du numéro 110, on déterminera le débouché par la méthode empirique suivante, qui paraît avoir été sanctionnée par l'expérience:

Dans les pays plats, comme la Hollande, la largeur du débouché se règle à raison de 0^m,45 à 0^m,50 pour chaque 1000 hectares du terrain dont les eaux affluent sous le ponceau. Si le sol est en pente, et que les plus grandes hauteurs qui environnent le bassin s'élèvent à environ 50 mètres au-dessus du thalweg, la largeur du débouché se prend à raison de 1^m,25 par 1000 hectares; il faut encore aug-

menter ce débouché si le bassin est resserré entre des montagnes très-élevées et très-inclinées, parce que les eaux pluviales arrivent plus vite et en plus grande abondance sous le ponceau.

Si ces moyens de déterminer le débouché paraissent incertains, on se rendrait compte de la plus grande quantité d'eau qui peut affluer sous le pont en une seconde, en supposant que les plus grands orages sont assez prolongés pour que le volume d'eau qui passe sous le pont en une seconde soit égal à celui qui tombe dans toute l'étendue du bassin dans le même temps, et que, d'après les observations les plus exactes, le maximum d'eau tombé en une seconde est de 0^m,000002 par mètre carré.

Les observations faites pendant un certain nombre d'années ayant prouvé que des pluies de cette abondance ne durent jamais plus de 17 heures, il en résulte que pour appliquer cette méthode, il faut que l'étendue du bassin soit assez faible, et sa pente assez grande, pour qu'en 17 heures la première eau tombée dans les points les plus éloignés du bassin ait eu le temps d'arriver au ponceau.

Les cas où il afflue à la fois le plus grand volume d'eau sous le ponceau se présentent quand le sol étant gelé et couvert de neige, il survient une pluie chaude, et quand le sol est peu perméable, soit par sa nature, soit par des pavages, soit par des parties couvertes d'édifices.

Une fois que l'on s'est rendu compte approximativement du volume des eaux, on se rend compte de la hauteur à laquelle elles s'élèveront dans le ravin, à l'aide de la formule d'Eytelwein,

$$RI = 0,000024 v + 0,000365 v^2, \quad (110)$$

qui devient, en y faisant $R = \frac{S}{P}$ et $v = \frac{Q}{S}$ (n° 110),

$$\frac{S}{P} I = 0,000024 \frac{Q}{S} + 0,000365 \frac{Q^2}{S^2}.$$

Il y a dans cette équation deux inconnues, la section S et le périmètre P, desquelles dépend la profondeur de l'eau.

Si la section S était un rectangle, on pourrait remplacer S et P

en fonction de la profondeur, qui resterait seule comme inconnue dans l'équation précédente, et serait facilement déterminée.

Si la section S était un trapèze, on pourrait encore suivre une même marche; mais les valeurs de S et de P en fonction de la profondeur seraient déjà compliquées, et ces valeurs substituées dans la formule précédente la rendraient difficile à résoudre. Il vaut mieux dans ce dernier cas suivre la marche adoptée pour une forme quelconque de section. Cette marche consiste à rapporter sur une feuille de papier le profil en travers du ravin, à assigner à la profondeur de l'eau une valeur que l'on préjuge convenable, à calculer la valeur de S qui correspond à cette profondeur, ce qui se fait en la décomposant en trapèzes et en triangles par des lignes verticales; on évalue également P, et les valeurs de S et de P substituées dans l'équation précédente donnent pour Q la valeur que l'on a déterminée, si la valeur assignée à la profondeur est convenable; cela n'étant pas, on essaye une seconde profondeur, puis une troisième et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on arrive à une valeur satisfaisante.

Ayant la profondeur de l'eau dans le ravin et le volume d'eau à débiter, on prend le débouché tel que sa largeur multipliée par la profondeur d'eau trouvée donne une section capable de débiter le volume Q, sans que la vitesse soit trop considérable.

Les ponceaux se font ordinairement en maçonnerie et quelquefois en bois. Dans ce dernier cas, les culées peuvent se faire avec des pieux; mais le bois qui les forme étant à l'air d'un côté et en contact avec la terre de l'autre, se trouve dans un état de sécheresse et d'humidité variable qui le fait pourrir promptement.

Les voûtes des ponceaux se font en arc de cercle quand l'élévation des eaux ne permet pas de les faire en plein cintre.

Il arrive quelquefois que l'ouverture que l'on est obligé de donner à un ponceau est assez faible pour que l'eau y prenne une vitesse suffisante pour affouiller le sol. Pour éviter cet affouillement, on recouvre le sol par un *radier* en maçonnerie, que l'on prolonge, si cela est nécessaire, dans toute l'étendue du rétrécissement occasionné par le ponceau.

PONTS EN PIERRE.

511. *Ponts en pierre.* Dans l'étude d'un projet de pont, on a à considérer : 1° son emplacement ; 2° son débouché ; 3° la grandeur des arches ; 4° leur forme ; 5° les dimensions de leurs différentes parties ; 6° le mode de construction.

512. *Emplacement d'un pont.* Il est ordinairement déterminé par la position des deux voies que le pont doit mettre en communication. Cependant il peut arriver que le pont étant placé dans la direction d'une voie, il soit oblique par rapport à l'autre, ou que le niveau auquel se trouvent les voies exigerait de fortes rampes pour arriver au niveau auquel on est obligé d'élever le pont, ce qui enterrerait les maisons ; il peut arriver aussi que le sol où on aurait à construire conduirait à des dépenses considérables, ou encore que la direction des piles y serait oblique par rapport à celle du courant, ce qu'il faut éviter autant que possible, surtout pour un grand pont, parce qu'un pont biais, outre qu'il est plus difficile à bien construire, est aussi plus sujet aux affouillements. Dans ces divers cas, on doit rechercher si dans le voisinage il n'y aurait pas un point plus favorable sous le rapport de la commodité, de la solidité et de l'économie.

La largeur d'un pont dépend évidemment du nombre des personnes et des voitures qui circulent ou peuvent circuler sur les rues ou sur les routes qu'il doit réunir. Dans une ville, la largeur doit en général être au moins égale à celle des rues qui y aboutissent. A la campagne, cette largeur doit ordinairement permettre, surtout si le pont est un peu grand, à deux voitures de se croiser ; cela oblige de la porter à 5 mètres ; on lui donne ordinairement 7 à 8 mètres, si le pont est long, et on fait un trottoir de chaque côté pour les piétons.

513. *Débouché.* Sur une rivière considérable, la détermination du débouché est de la plus haute importance. Dans un ponceau, un radier permet de rétrécir le débouché au point d'obtenir une vitesse qui entraînerait le sol naturel (510) ; mais dans un grand pont, sauf des cas exceptionnels, il faut renoncer au radier, et calculer le débouché tel qu'il puisse débiter les eaux sans que la

vitesse atteigne la limite à laquelle elle attaquerait le fond (111), produirait des affouillements, déracinerait les points d'appui et amènerait la chute du pont.

Il faut aussi éviter que le débouché du pont soit trop grand, parce qu'il pourrait se former des atterrissements en quelque points de sa longueur, et ces atterrissements se consolidant par les herbage qui y pousseraient, ils pourraient faire prendre au courant une direction oblique, et une grande crue survenant, le pont pourrait être détruit par suite de l'affouillement de quelques piles ; c'est ce qui est arrivé à Roanne et à Nevers. Cependant, le cas de destruction par suite d'un débouché trop grand étant beaucoup plus rare que celui provenant d'un débouché trop faible, il vaut mieux pécher dans le premier cas que dans le second.

Pour arriver à fixer convenablement le débouché, il faut jauger le cours d'eau avec soin, d'après ce qui a été dit nos 110, 111 et 112, pendant les basses, les grandes et les moyennes eaux, en déterminant directement la vitesse au moyen de flotteurs, quand la saison et le temps le permettent, et au moyen des formules, en adoptant les coefficients d'Eytelwein, dans le cas contraire (510). Il convient de faire ce jaugeage pendant les basses eaux, afin que l'on prenne un débouché qui ne permette pas les atterrissements ; pendant les plus grandes crues, afin qu'il puisse débiter les eaux sans que la vitesse soit trop grande ; et même pendant les eaux moyennes, afin de s'assurer de la direction et du régime ordinaire des eaux.

Comme dans chacun de ces cas on a le niveau des eaux pour chaque longueur de débouché, c'est-à-dire d'espace libre entre les piles et culées, on a la section des eaux, et le volume divisé par cette section donne la vitesse moyenne, qui ne doit pas permettre les atterrissements, ni pouvoir corroder le sol.

Il est évident que si la rivière débordait au point où l'on doit construire, son jaugeage ne pourrait s'effectuer en cet endroit pendant les grandes eaux ; on le ferait alors en un point situé à une certaine distance en amont ou en aval, où la rivière serait parfaitement encaissée.

Lorsque les eaux s'élèvent au-dessus du niveau des naissances des voutes, il faut avoir égard à ce que le débouché ne croît plus

en raison de la hauteur des ouvertures, et pour cela augmenter un peu la distance des appuis. On augmente aussi cette distance pour avoir égard à la contraction de l'eau dans les ouvertures du pont (on admet que dans ce cas d'écoulement le coefficient de contraction est 0,90) (n° 95).

514. *Remous.* Par suite du rétrécissement de la rivière, causé par les piles, le niveau de l'eau s'élève d'une certaine quantité en amont du pont. Il est important de déterminer cet exhaussement, appelé *remous*, afin de s'assurer qu'il ne causera pas de dommages aux propriétés riveraines.

Appelons :

- L la largeur de la rivière en avant du pont;
 l la largeur totale des piles;
 x le remous;
 h la profondeur moyenne de la rivière en amont du remous; la profondeur est sensiblement la même entre les piles du pont;
 h + x la profondeur de l'eau au devant des piles;
 K le coefficient de la contraction qui résulte du passage de l'eau entre les piles; cette contraction produit sur la dépense le même effet qu'un rétrécissement;
 v la vitesse de l'eau en amont du remous.
 v' la vitesse de l'eau au point du plus grand exhaussement du niveau de l'eau;
 v'' la vitesse de l'eau entre les piles, ou mieux au point de plus grande contraction;
 Q le débit de la rivière par seconde.

Le débit Q étant le même au point où il n'y a ni remous ni rétrécissement qu'aux points où ces effets se produisent, on a à la fois :

$$Q = Lhv = L(h+x)v' = (L-l)hv''K.$$

Des deux premières valeurs de Q, on conclut :

$$v' = \frac{Lhv}{L(h+x)} = \frac{hv}{h+x},$$

et de la première et de la troisième on conclut :

$$v'' = \frac{Lv}{(L-l)K}.$$

Le remous doit être égal à la différence des hauteurs génératrices des vitesses v' et v''; on a donc :

$$x = \frac{v'^2 - v''^2}{2g}. \quad (89)$$

Remplaçant dans cette équation v' et v'' par leur valeurs précédentes, on a :

$$x = \frac{v^2}{2g} \left(\frac{L^2}{(L-l)^2 K^2} - \frac{h^2}{(h+x)^2} \right).$$

Équation du troisième degré qui ne contient que la seule inconnue x, et qu'il convient de résoudre par tâtonnement; ainsi on assignera à x, dans le second membre de l'équation, une valeur que l'on préjugera convenable; l'équation, qui sera alors du premier degré, donnera pour x une seconde valeur plus exacte que celle supposée; cette deuxième valeur substituée dans le second membre de l'équation en fournira une troisième que l'on pourra considérer comme satisfaisant exactement à l'équation, et qu'en pratique on pourra adopter comme étant la hauteur du remou.

Si l'on a, comme dans une expérience faite sur le Veser, et rapportée par M. Daubuisson, L = 180^m,71, l = 84^m,58, h = 5^m,37 et v = 1^m,494; si l'on suppose K = 0,90, et que l'on fasse x = 0^m,25, par exemple, dans le second membre de l'équation précédente, on a

$$x = \frac{1,494^2}{19,62} \left(\frac{180,71^2}{(180,71 - 84,58)^2 \times 0,9^2} - \frac{5,37^2}{(5,37 + 0,25)^2} \right) = 0^m,393.$$

Cette valeur substituée dans le second membre de l'équation donnerait x = 0^m,398, valeur que l'on peut considérer comme satisfaisant exactement à l'équation, et qui ne diffère pas sensiblement de celle 0^m,382, qu'a donnée l'expérience.

515. *Grandeur des arches.* Sur une rivière qui n'est ni navigable, ni exposée à des crues ou à des débâcles, on adopte de petites arches, qui, à longueur égale de pont, sont moins coûteuses que les grandes, quand toutefois la nature du sol ne conduit pas à des dépenses plus grandes par suite du plus grand nombre de piles à fonder.

Quand la rivière sans être navigable est sujette à des crues et à des débâcles, on doit adopter des arches assez grandes pour que les glaces ou tout autre corps flottant ne soient pas arrêtés par les piles; il en résulterait des amas de glaces, appelées embâcles, qui sont une des causes les plus fréquentes de la destruction des ponts. Il ne faut pas en général adopter des arches moindres que celles du premier pont placé en amont.

Sur une rivière navigable, il faut proportionner les arches aux dimensions des bateaux, et surtout à la vitesse du courant. Si cette vitesse est grande, le débouché étant de moins de 25 mètres, on ne fait qu'une seule arche. Pour un plus grand débouché, afin d'éviter les dépenses considérables des grandes arches, on en fait de plus petites; le nombre des arches doit être de trois au moins, sauf à faire l'arche du milieu plus grande que les autres, si elle était insuffisante pour la navigation.

Quand la rivière navigable a peu de pente, la largeur des arches peut être moindre, et on peut même adopter un nombre pair d'arches, c'est-à-dire placer une pile au milieu, si cette disposition offre des avantages d'exécution compensant ses inconvénients.

516. *Forme des arches.* La surface intérieure des voûtes est engendrée par une droite qui se meut en restant horizontale et en s'appuyant sur une demi-circonférence dont le diamètre est égal à l'ouverture de l'arche, ce qui donne une voûte en *plein cintre*; ou sur une courbe à plusieurs centres, dont les extrémités sont, comme dans le cas précédent, tangentes aux pieds-droits, ce qui donne une voûte en *anse de panier*; ou encore sur un seul arc de cercle rencontrant les pieds-droits suivant un certain angle, ce qui donne une voûte en *arc de cercle*.

Les voûtes en plein cintre étant les plus faciles à appareiller et les plus solides, on les construit toutes les fois qu'elles laissent un passage suffisant aux eaux, et aux bateaux, jusqu'au moment où la rivière cesse d'être navigable, sans porter le pont à une hauteur que ne permettent pas ses abords. Quand ces conditions ne peuvent être convenablement remplies par les voûtes en plein cintre, on fait usage de voûtes en anse de panier, et si celles-ci ne laissent pas encore un débouché convenable, on a recours aux voûtes en arc de cercle.

Les *naissances* d'une voûte sont les points où elle se raccorde avec les pieds-droits. La *montée* est la hauteur verticale de la clef au-dessus des naissances. Dans les voûtes en arc de cercle, il faut tenir les naissances au-dessus du niveau auquel atteignent les débâcles, pour qu'elles ne soient pas dégradées par les glaces et qu'elles ne rétrécissent pas le débouché; il est difficile de satisfaire complètement à cette condition dans les voûtes en plein cintre et en anse de panier; du reste, pour une certaine élévation de niveau, au-dessus des naissances, le débouché est moins rétréci par ces voûtes que par celles en arc de cercle. Pour remédier jusqu'à un certain point à l'effet de ce rétrécissement, on a imaginé aux ponts de Neuilly, Bordeaux, etc., d'évaser la voûte sur les plans de tête, de manière à surhausser les naissances dans ces plans au niveau des plus hautes eaux, tout en laissant la clef à la même hauteur que dans la partie cylindrique de la voûte. Dans son mouvement, la génératrice de chacune de ces parties évasées passe successivement dans tous les plans normaux à la partie cylindrique de la voûte.

517. *Tracé des arches.* Les tracés des voûtes en plein cintre et en arc de cercle n'offrent aucune difficulté. Dans ces dernières, si on désigne par m la montée, par l la demi-ouverture du pont, et par r le rayon de l'arc, on a

$$r = \frac{l^2 + m^2}{2m}.$$

Il ne faut pas prendre, dans aucun cas, la montée de moins du $1/8$ de l'ouverture.

Le tracé de l'anse de panier, dont la forme se rapproche de celle de l'ellipse, est un peu plus difficile que les précédents. Les arcs, en nombre impair, dont il se compose doivent se raccorder tangentiellement à leurs extrémités, afin d'éviter les jarrets, et de plus être décrits avec des rayons convenablement proportionnés, afin que leur ensemble forme une courbe bien continue et n'offrant pas l'aspect d'une courbe paraissant s'infléchir aux points de contact des arcs. Pour que ces conditions soient le plus convenablement remplies, les centres de deux arcs successifs doivent se trouver sur le même rayon passant par le point de contact des deux

arcs, les rayons aboutissant à ces points de contact doivent faire des angles égaux entre eux, et égaux au quotient de deux angles droits ou de 180° par le nombre des arcs qui doivent composer l'anse; ainsi, lorsque l'anse de panier est à 3, 5, 7, etc. centres, les divers rayons sont respectivement entre eux des angles de 60° , 36° , $25^\circ, 71\frac{1}{2}$; et de plus les rayons doivent, d'après la méthode de M. Michal, ingénieur des ponts et chaussées, être égaux au rayon de courbure de l'ellipse qui a les mêmes axes que l'anse de panier.

C'est d'après ces hypothèses que M. Michal a calculé le tableau suivant, qui donne pour diverses montées les valeurs des rayons nécessaires pour effectuer le tracé; ces valeurs sont données en prenant l'ouverture pour unité.

ANSES A 5 CENTRES.		ANSES A 7 CENTRES.			ANSES A 9 CENTRES.			
Montée.	1 ^{er} rayon.	Montée.	1 ^{er} rayon.	2 ^e rayon.	Montée.	1 ^{er} rayon.	2 ^e rayon.	3 ^e rayon.
0.36	0.278	0.33	0.228	0.315	0.25	0.130	0.171	0.299
0.35	0.265	0.32	0.216	0.302	0.24	0.120	0.159	0.278
0.34	0.252	0.31	0.203	0.289	0.23	0.111	0.148	0.268
0.33	0.239	0.30	0.192	0.276	0.22	0.102	0.138	0.252
0.32	0.225	0.29	0.180	0.263	0.21	0.093	0.126	0.237
0.31	0.212	0.28	0.168	0.249	0.20	0.083	0.114	0.222
0.30	0.198	0.27	0.156	0.236				
		0.26	0.145	0.223				
		0.25	0.133	0.210				

Soit, figure 25, planche III, aa' l'ouverture, et cd la montée. Quand aa' est moindre que $3cd$, on emploie l'anse de panier à 3 centres; pour la décrire, sur aa' on décrit une demi-circonférence, que l'on divise en trois parties égales par les rayons ce et ce' ; on mène les cordes ae , ef , fe' et $e'a'$; par le point d on conduit dh parallèle à fe et dh' parallèle à fe' , et les lignes hi et $h'i$, menées respectivement parallèles à ce et ce' , déterminent les trois centres k, i et k' , et par suite les rayons $ak = a'k'$ et hi de l'anse de panier $ah k'a'$. D'abord

les centres de deux arcs consécutifs sont bien placés sur le même rayon aboutissant au point de raccordement des arcs; de plus, deux rayons consécutifs font bien entre eux un angle de $\frac{180}{3} = 60^\circ$, car on a :

$$akh = ace, hih' = ee' \text{ et } h'k'a' = e'ca'.$$

Pour tracer une anse de panier à 5 centres, on suit la même marche; ainsi, après avoir, figure 26, planche III, mené les rayons cd , ce , ce' et cd' divisant la circonférence aba' en 5 parties égales, ainsi que les cordes ad , de , eb , etc., on prend le premier rayon af égal à la valeur consignée au tableau précédent, et on mène gh parallèle à cd ; conduisant ensuite hi parallèle à de et di parallèle à be , puis ik parallèle à ce , on obtient le 2^e centre g et le 3^e k . Le tracé est le même de l'autre côté de cd ; mais on peut pour ce côté commencer par le rayon ki' , le point k étant connu.

Pour une anse de panier à 7 centres, on opérerait d'une manière semblable; ainsi on prendrait af égal au premier rayon du tableau, on mènerait hg parallèle au premier rayon diviseur cd ; on prendrait ensuite hg égal au deuxième rayon consigné au tableau, on mènerait par g une parallèle au deuxième rayon diviseur; et les troisième et quatrième rayons se détermineraient de la même manière que les deuxième et troisième g et k dans le cas précédent. On opérerait d'une manière tout à fait semblable pour une anse de panier à 9 centres, et en général pour un nombre impair quelconque de centres.

M. Lerouge, ingénieur en chef des ponts-et-chaussées, a, pour tracer les anses de panier, toujours supposé que les divers rayons passant par les points de raccordement feraient des angles égaux entre eux, mais que les rayons croîtraient suivant une progression arithmétique; c'est d'après cette hypothèse qu'il a calculé les résultats du tableau suivant, dans lequel on a pris l'ouverture pour unité. Ce tableau contient en outre la hauteur réduite du débouché enveloppé par la courbe, l'ouverture étant également prise pour unité.

ANSES A 3 CENTRES.				ANSES A 5 CENTRES.				ANSES A 7 CENTRES.				ANSES A 9 CENTRES.			
Montée.	Premier rayon.	Différ. des rayons successifs.	Hauteur réduite.	Montée.	Premier rayon.	Différ. des rayons successifs.	Hauteur réduite.	Montée.	Premier rayon.	Différ. des rayons successifs.	Hauteur réduite.	Montée.	Premier rayon.	Différ. des rayons successifs.	Hauteur réduite.
0.380	0.336	0.327	0.303	0.350	0.245	0.228	0.274	0.339	0.183	0.181	0.256	0.320	0.148	0.148	0.246
0.390	0.350	0.301	0.310	0.360	0.262	0.243	0.282	0.340	0.202	0.171	0.264	0.330	0.167	0.140	0.255
0.400	0.363	0.273	0.318	0.370	0.279	0.198	0.290	0.350	0.221	0.160	0.272	0.340	0.187	0.132	0.263
0.410	0.377	0.246	0.326	0.380	0.296	0.183	0.298	0.360	0.239	0.149	0.281	0.350	0.206	0.125	0.272
0.420	0.391	0.219	0.334	0.390	0.313	0.167	0.306	0.370	0.258	0.139	0.289	0.360	0.226	0.115	0.280
0.430	0.404	0.191	0.341	0.400	0.330	0.152	0.315	0.380	0.276	0.128	0.297	0.370	0.245	0.107	0.288
0.440	0.418	0.164	0.349	0.410	0.347	0.137	0.323	0.390	0.295	0.117	0.305	0.380	0.265	0.099	0.297
0.450	0.432	0.137	0.356	0.420	0.364	0.122	0.330	0.400	0.314	0.107	0.313	0.390	0.285	0.091	0.305
0.460	0.445	0.109	0.364	0.430	0.381	0.107	0.338	0.410	0.332	0.096	0.322	0.400	0.304	0.082	0.313
0.470	0.459	0.082	0.371	0.440	0.398	0.091	0.346	0.420	0.351	0.085	0.330	0.410	0.324	0.074	0.321
0.480	0.473	0.055	0.378	0.450	0.416	0.077	0.354	0.430	0.370	0.075	0.338	0.420	0.343	0.066	0.329
0.490	0.486	0.027	0.386	0.460	0.432	0.061	0.362	0.440	0.388	0.064	0.346	0.430	0.363	0.058	0.337
0.500	0.500	0.000	0.393	0.470	0.449	0.046	0.370	0.450	0.407	0.053	0.354	0.440	0.383	0.049	0.345
				0.480	0.466	0.030	0.377	0.460	0.425	0.043	0.361	0.450	0.402	0.041	0.353
				0.490	0.483	0.015	0.385	0.470	0.444	0.032	0.369	0.460	0.422	0.033	0.361
				0.500	0.500	0.000	0.393	0.480	0.463	0.021	0.377	0.470	0.441	0.025	0.369
								0.490	0.481	0.011	0.385	0.480	0.461	0.016	0.377
								0.500	0.500	0.000	0.393	0.490	0.480	0.008	0.385
												0.500	0.500	0.000	0.393

Ajoutant la différence des rayons successifs au premier rayon, on a le deuxième ; cette différence ajoutée au deuxième rayon donne le troisième, et ainsi de suite. A l'aide de ces divers rayons, on fera le tracé comme il a été indiqué plus haut.

Au pont de Neuilly, on a employé une anse de panier à 11 centres, que l'on a tracée comme l'indique la figure 27, planche III.

On prend un point k , que l'on croit devoir être le premier centre ; on divise fk de manière que $kj = \frac{ji}{2} = \frac{ih}{3} = \frac{hg}{4} = \frac{gf}{5}$; cela fait, on

prend $fa = 3fk$; on divise fa en 5 parties égales, aux points $edcb$; on joint ek, dj, ci, bh et ag , et si le point k a été bien choisi, la courbe ayant pour centres successifs les points k, r, o, m, n, a , passera par le sommet q de la montée. On conçoit que ce n'est que par tâtonnement que l'on arrivera à la position convenable du point k . Supposons que l'on a fait une première hypothèse, et que le point k choisi ne convienne pas ; on aura la valeur convenable x , de fk , à l'aide de la formule

$$x = \frac{m(a-b)}{4m-s}.$$

$a = fl$ demi-ouverture ;

$b = fq$ montée ;

m valeur qu'on a prise pour fk dans la première hypothèse ;

s développement de la ligne brisée $amnork$ qu'à donnée la première hypothèse.

518. *Formes des piles.* La coupe horizontale des piles proprement dites est un rectangle ; mais on les termine en amont et en aval par un massif de maçonnerie faisant saillie sur les têtes du pont ; le massif d'amont s'appelle *avant-bec*, et celui d'aval *arrière-bec*. Ces becs s'élèvent jusqu'au-dessus des plus hautes eaux, afin qu'ils préservent complètement le massif de la pile du choc des corps flottants ; ainsi, dans les ponts en plein cintre et en anse de panier, ils peuvent s'élever au-dessus des naissances ; dans les ponts en arc de cercle on les termine aux naissances, les eaux ne s'élevant pas plus haut. On les termine à la partie supérieure par des demi-cônes qui les raccordent avec les *tirpans* du pont.

Les becs ne sont pas seulement destinés à préserver les massifs des piles du choc des corps flottants ; mais aussi à faciliter, par

leur forme, le passage de l'eau, de manière à diminuer la contraction et les tourbillonnements de l'eau et par suite les affouillements. Il est évident que les formes qui doivent le mieux satisfaire à ces conditions sont celles que l'on doit donner aux proues et poupes verticales, pour faciliter le mouvement des bateaux (292).

Par des expériences directes sur diverses formes de piles de 0^m,15 d'épaisseur, le canal ayant 0^m,50 de largeur, l'eau y circulant sur une épaisseur de 0^m,04, avec une vitesse de 3^m,90 par seconde, Gauthey a reconnu que la forme rectangulaire était la plus défavorable, que la forme d'un triangle rectangle favorisait peut être encore plus les affouillements, que celle en demi-cercle était un peu plus convenable, que celle en triangle équilatéral l'était davantage, et qu'une forme, plus favorable encore que cette dernière, était celle composée de deux arcs de cercle tangents aux faces de la pile et ayant leurs centres respectivement sur ces faces.

Dans des expériences avec l'avant-bec formé de deux arcs de cercle, on a fait descendre les naissances au-dessous du niveau de l'eau; alors le remous a été considérable, et les courants ont divergé à peu près autant que dans les expériences faites avec les avant-becs rectangulaires.

Ces expériences conduisent à adopter la forme triangulaire équilatérale, ou mieux la forme en arcs de cercle; mais les angles aigus qu'elles présentent aux chocs des glaces et des autres corps flottants sont promptement endommagés; aussi donne-t-on en général la préférence aux avant-becs demi-circulaires.

Une forme elliptique concilierait en partie les avantages de la forme circulaire et de celle en arcs de cercle.

519. *Appareil des voûtes.* Les voussoirs doivent être en nombre impair, et celui qui forme clef doit être placé au milieu; leurs plans de joint doivent être normaux à la surface cylindrique de la voûte, et on ne doit les raccorder avec la maçonnerie qui les surmonte que par des faces horizontales ou verticales; surtout sur les tympans, ces faces horizontales et verticales doivent se raccorder avec soin avec celles des assises courantes. Les dimensions des voussoirs dépendent de celles des pierres que l'on a à sa disposition; cependant il ne faut pas que leur longueur soit trop grande par

rapport à leur épaisseur, parce qu'ils se rompraient; il faudrait dans ce cas les composer de plusieurs morceaux. Au pont de Neuilly, les voussoirs, qui sont les plus longs que l'on ait employés, ont 1^m,80 de longueur sur 0^m,46 d'épaisseur à la *douelle*, c'est-à-dire à la surface intérieure de la voûte.

520. *Dimensions des voûtes, joints de rupture.* Lorsque les dimensions d'une voûte et de ses culées sont réduites au point de ne pouvoir se soutenir, on remarque, au moment où l'équilibre va se rompre, qu'en général la voûte s'ouvre, comme l'indique la figure 28, planche 111, à l'intrados à la clef, à l'extrados en des points placés dans les *reins* de la voûte, et que les pieds-droits tournent autour de l'arête extérieure de leur base.

Quelquefois, à la rupture, on remarque que la voûte se fend à la clef et dans les reins, mais sans s'ouvrir, et que les pieds droits glissent sur leur base.

Il est encore un troisième cas possible, c'est celui où le voussoir inférieur, c'est-à-dire l'ensemble du pied-droit et de la partie de voûte inférieure au rein exerce, pour tomber en avant, un effort plus grand que celui exercé par le voussoir supérieur pour le faire tourner en sens contraire; alors, la voûte s'ouvre comme dans le premier cas, mais à l'extrados à la clef, à l'intrados aux reins, et les pieds-droits tournent autour de l'arête intérieure de leur base.

Une voûte peut être considérée comme composée de 4 voussoirs séparés par les joints où la rupture est possible, et qui doivent mutuellement se maintenir en équilibre.

1° Examinons d'abord le premier cas, celui où il y a affaissement de la voûte et renversement des pieds-droits, figure 28, planche 111. Au moment où l'équilibre se rompt, on peut supposer théoriquement que les voussoirs ne reposent plus entre eux et sur le sol que par les arêtes *a, b, b', c* et *c'*; alors, *ab, bc, ab'* et *b'c'* sont entre eux dans le même état d'équilibre que des droites rigides *ab, bc, ab'* et *b'c'*, dont les poids sont ceux des voussoirs, et dont les centres de gravité sont placés aux points *G', g'*, etc. situés sur les verticales passant par les centres de gravité *G, g*, etc. des voussoirs.

Il convient, pour abrégé les calculs relatifs à la poussée des voûtes, de ne considérer qu'une tranche de voûte de un mètre

de longueur; s'il y a équilibre sur un mètre, il est évident que l'équilibre subsistera sur toute l'étendue de la voûte.

Représentons : *ad* par x , *de* par x' , *ef* par y , *fc* par y' , *bh* par z et *ci* par z' .
Soit P le poids du voussoir ab et Q celui du voussoir bc .

Le poids P , que l'on peut supposer appliqué en G' ou même en h , se décompose en deux forces verticales, l'une $P \frac{z}{x}$ appliquée en a , et l'autre $P \frac{x-z}{x}$ appliquée en b . Le poids Q , que l'on peut supposer appliqué en g' ou même en i , se décompose également en deux forces verticales, l'une $Q \frac{z'}{x}$ appliquée en b , et l'autre $Q \frac{x'-z'}{x'}$ appliquée en c . Les voussoirs ab' et $b'c'$ fournissent les mêmes composantes, appliquées respectivement aux points a , b' et c' .

Ainsi au point a agit une force verticale $2P \frac{z}{x}$, laquelle se décompose en deux forces égales dirigées, l'une suivant ab et l'autre suivant ab' . Représentant par C chacune de ces composantes, on a :

$$C : 2P \frac{z}{x} :: ab = \sqrt{x^2 + y^2} : 2y, \text{ d'où } C = P \frac{z \sqrt{x^2 + y^2}}{xy}.$$

La force C , agissant suivant ab , peut être supposée appliquée au point b , où elle se décompose en deux autres :

L'une verticale et égale à $P \frac{z}{x}$,

L'autre horizontale et égale à

$$P \frac{z \sqrt{x^2 + y^2}}{xy} \times \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} = P \frac{z}{y}.$$

Considérant alors le voussoir bc , on voit qu'il est sollicité par la force horizontale $P \frac{z}{y}$ appliquée au point b , et par les forces verticales

Q , $P \frac{x-z}{x}$ et $P \frac{z}{x}$ appliquées, la première au point g et les dernières au point b ; par conséquent, pour que ce voussoir ait de la stabilité, on doit avoir

$$Qz + \left(P \frac{x-z}{x} + P \frac{z}{x} \right) x' - P \frac{z}{y} y' > 0,$$

ou en y simplifiant,

$$Qz' + Px' - P \frac{zy'}{y} > 0. \quad (a)$$

Ajoutant $Pz - Pz$ au premier membre de cette inégalité, on a :

$$Qz' + P(x' + z) - \left(Pz + P \frac{zy'}{y} \right) > 0.$$

Qz' est le moment du voussoir bc , pris par rapport au point c , $P(x' + z)$ est le moment du voussoir ab , pris par rapport au même point; par conséquent la somme de ces deux expressions est égale au moment total MA de la demi-voûte, pris par rapport au point c .

$M = Q + P$ poids de la demi-voûte;
 Λ distance horizontale du centre de gravité de la demi-voûte au point c .

Le second terme de l'inégalité précédente devient, en réduisant au même dénominateur,

$$Pz \frac{y+y'}{y} = PH \frac{z}{y},$$

$H = y + y'$ hauteur totale de la voûte.

L'inégalité précédente devient donc en définitive :

$$MA - PH \frac{z}{y} \text{ ou } H \left(\frac{MA}{H} - P \frac{z}{y} \right) > 0.$$

Ainsi il y aura rupture quand le terme négatif sera plus grand que le terme positif, équilibre quand il lui sera égal, et la stabilité sera d'autant plus grande qu'il sera plus petit relativement à ce terme positif.

Le terme $\frac{MA}{H}$ étant constant, et le terme $\frac{Pz}{y}$ étant seul variable, il est évident que si une voûte doit se rompre, c'est au point pour lequel $P \frac{z}{y}$ est maximum; ainsi la première chose à faire pour s'assurer qu'une voûte projetée résistera, c'est de déterminer la position du joint qui donne $P \frac{z}{y}$ maximum.

Il convient de remarquer que dans cette recherche on n'a à considérer que le voussoir supérieur, et que les joints pour lesquels on doit calculer les valeurs correspondantes de P , y et z doivent être choisis voisins du joint qu'à l'œil on suppose devoir être celui de rupture. Il convient aussi, pour abrégé les calculs, d'observer que les valeurs de P étant proportionnelles aux surfaces correspondantes de la section de la voûte, et que les valeurs de z et de y données par ces surfaces étant les mêmes que celles des portions correspondantes de la voûte, il conviendra d'opérer sur ces surfaces pour déterminer les valeurs successives de y et z , et que la position du joint de rupture sera déterminée par la valeur maximum du produit de $\frac{z}{y}$ par la surface correspondante

Si on arrivait à une valeur de $P \frac{z}{y}$ trop grande, on augmenterait la largeur des pieds droits de manière à augmenter convenablement MA .

Ce qui vient d'être dit s'applique aux voûtes surbaissées comme aux voûtes en plein cintre.

Dans tout ce qui vient d'être dit, nous avons supposé que la voûte n'avait à supporter que son propre poids; mais ordinairement elle est surmontée d'un massif de maçonnerie formant une surface horizontale au-dessus de la voûte et des pieds-droits; de plus encore, ce massif supporte ordinairement une surcharge accidentelle ou permanente.

Dans ces divers cas, les poids P , Q et M comprennent non-seulement ceux des parties correspondantes de la voûte proprement dite, mais aussi ceux des massifs de maçonnerie et les portions de surcharge qui reposent sur ces parties de la voûte. On a éga-

lement égard à ces poids additionnels en déterminant les positions des centres de gravité.

Il convient de faire l'épure qui sert à déterminer le joint de rupture à une grande échelle; cela aide à fixer la position des centres de gravité, et à calculer les surfaces et par suite les poids des diverses parties de voûte que l'on a à considérer.

2° *Le deuxième cas de rupture d'une voûte a lieu lorsque, par l'effet de la force horizontale maximum $P \frac{z}{y}$ du voussoir agissant, la culée ou pied-droit glisse sur sa base. Il est évident que ce glissement n'aura pas lieu lorsqu'on aura*

$$MK > P \frac{z}{y}.$$

K coefficient du frottement de la culée sur sa base; on peut le faire égal à 0,76 (37 et 38).

Les autres lettres ont les mêmes significations qu'au cas précédent.

3° *Le troisième cas de rupture d'une voûte se présente quand, par la forme de la voûte ou par le mode de répartition de la charge, les pieds-droits tendent à tomber en avant; alors la voûte s'ouvre à l'intérieur aux reins, et à l'extérieur à la clef, comme l'indique la figure 29, planche 111. Ce cas peut être considéré comme exceptionnel, et on pourra généralement se dispenser de faire les calculs suivants.*

On établit les conditions d'équilibre comme dans le premier cas, en prenant pour point de rotation des voussoirs les points a, b, c ; et pour qu'il y ait stabilité, on trouve que l'on doit avoir :

$$H \left(P \frac{z}{y} - \frac{MA}{H} \right) > 0, \text{ c'est-à-dire } P \frac{z}{y} > \frac{MA}{H}.$$

$H = ad$ hauteur de la voûte mesurée à l'intrados;

M poids de la demi-voûte;

A distance horizontale du centre de gravité de la demi-voûte au point de rotation c ;

P poids du voussoir agissant ab ;

z distance horizontale du centre de gravité du voussoir agissant au point de rotation b ;

y distance verticale des points de rotation a et b .

Si on n'arrivait pas à $P \frac{z}{y} > \frac{MA}{H}$, on ajouterait un massif de maçonnerie au pied-droit, en dehors de l'arête c . Dans ce troisième cas de rupture de voûte, ainsi que dans le deuxième, on a, comme dans le premier cas, égard à la maçonnerie et à la surcharge qui peuvent reposer sur la voûte.

521. *Épaisseur des voûtes à la clef.* La méthode exposée dans le n° précédent est une méthode de tâtonnement, c'est-à-dire que l'on part d'une hypothèse sur l'épaisseur de la voûte. Afin de ne pas faire cette supposition au hasard, on a recours à la formule empirique suivante que Perronnet a déduite de ses observations :

$$e = 0,0347d + 0^m,325.$$

- e épaisseur de la voûte à la clef en mètres ;
 d distance des pieds-droits, si la voûte est en plein cintre; dans les voûtes surbaissées, d exprime le double du grand rayon, qui a servi à décrire la directrice de l'intrados dans les voûtes en arc de cercle, et l'arc supérieur de cette directrice dans les voûtes en anse de panier.

Comme pour des valeurs de d supérieures à 30 mètres, la formule donne des épaisseurs trop fortes, il conviendra dans ce cas de se guider, dans sa première hypothèse, sur les constructions existantes.

Partant de l'épaisseur ainsi trouvée, on détermine le joint de rupture comme il a été dit n° 520, et par suite la valeur de la poussée horizontale $P \frac{z}{y}$ de chaque voussoir agissant sur le voussoir résistant. Si cette poussée s'exerçait uniformément sur toute la hauteur e du joint à la clef, il serait facile de calculer quelle devrait être la valeur de e pour y résister; mais remarquons que le voussoir agissant ab , figure 28, planche 111, par sa tendance à tourner autour du point a , rend nulle la pression au point intérieur Λ , tandis qu'elle est maximum au point extérieur a . Il est évident que la voûte ne résistera qu'autant que cette pression maximum au point a ne dépassera pas la limite k que comporte la pierre de la voûte. La pression étant nulle en Λ , et k en a , on peut supposer que chaque point de e résiste en raison inverse de sa distance au point a , d'où il résulte que la résistance moyenne

est $\frac{k}{2}$, et la résistance totale $\frac{ke}{2}$. Cette résistance totale peut être représentée par la surface d'un triangle dont la base est k et la hauteur e ; son point d'application est situé au centre de gravité du triangle, c'est-à-dire à une distance $\frac{e}{3}$ de la base ou point a ; et comme le moment de cette résistance, pris par rapport au point de rotation b , doit être égal au moment du poids du voussoir agissant ab , pris par rapport à ce même point b , on doit donc avoir :

$$\frac{ke}{2} \left(y - \frac{e}{3} \right) = Pz.$$

Dans cette formule, les longueurs étant représentées en mètres et P en kilogrammes, k exprime le nombre de kilogrammes que peut supporter avec sécurité chaque mètre carré de la pierre qui compose la voûte (n° 160, page 203).

La formule ainsi établie donnera la valeur de e , et si cette valeur était différente de celle que l'on a supposée pour déterminer le joint de rupture (520), on le déterminerait de nouveau en adoptant cette valeur de e ; et la nouvelle valeur de Pz fournirait pour e une valeur plus approchée.

522. *Épaisseur des pieds-droits.* Lorsque les pieds-droits sont culées, c'est-à-dire doivent résister à la poussée horizontale de la voûte, il peut arriver qu'ils se renversent en tournant autour de leur arête extérieure. Ce cas ne peut avoir lieu qu'autant que l'inégalité (a) n° 520 ne serait pas satisfaite, et alors on augmenterait l'épaisseur du pied-droit et par suite z' de manière à y satisfaire. On opérerait d'une manière analogue pour le cas où le pied-droit peut tourner autour de son arête intérieure (3°, n° 520).

Il peut arriver aussi que, par suite d'une trop faible épaisseur, le pied-droit glisse sur sa base. Ce glissement ne peut avoir lieu dès que l'inégalité du 2°, n° 520, est satisfaite.

Il peut arriver également que la voûte glisse sur ses naissances; on vérifiera encore si cet effet est possible à l'aide de l'inégalité du 2°, n° 520, dans laquelle M ne comprendra plus le poids du pied-droit, mais seulement celui de la moitié de voûte qui le surmonte. Ce cas est évidemment celui qui exige la plus grande épaisseur de

ped-droit; cependant, comme l'épaisseur statique calculée pour le renversement est ordinairement plus que suffisante pour résister au glissement, on ne peut s'en tenir à cette dernière.

Ordinairement on augmente l'épaisseur statique trouvée d'une quantité telle, qu'en y supposant appliquée une pression égale aux $\frac{2}{3}$ de la charge totale de la fondation, on n'ait à craindre ni le tassement du sol, ni l'écrasement de la pierre. Dans le *Mémorial du génie militaire*, au lieu d'opérer ainsi pour obtenir de la stabilité, on multiplie l'épaisseur statique trouvée par un coefficient égal à 1,38 ou 1,40; on l'a même porté à 1,90, mais cette valeur paraît exagérée.

Dans les anciens ponts, on faisait les arches très-petites et en plein cintre ou en anse de panier, et les piles faisaient culées; mais dans les arches actuelles, que l'on fait grandes et en arc de cercle, afin de faciliter la navigation, le joint de rupture étant aux naissances pour un arc dont la montée est le $\frac{1}{6}$ ou le $\frac{1}{8}$ de l'ouverture, il en résulte que la poussée est trop considérable pour pouvoir établir des piles faisant culée; on se contente de leur donner des dimensions suffisantes pour que les pierres résistent avec sécurité à la charge qu'elles ont à supporter (160), en ayant égard aux effets des glaces et à toutes les autres causes de dégradation.

523. *Méthode graphique* donnée par M. Méry, ingénieur des ponts et chaussées, pour calculer la stabilité des voûtes.

Par ce procédé, très-pratique, on peut obtenir les divers éléments principaux nécessaires pour déterminer les épaisseurs des voûtes cylindriques de toutes les formes et de leurs pieds-droits.

Lorsqu'une voûte est en équilibre, de quelque manière que, sur chaque joint, la pression se répartisse entre les différents points, les pressions de tous les points donnent une résultante unique appliquée en un point du joint; ainsi, par exemple, pour le joint ab , figure 30, planche 111, cette résultante, que nous désignerons par p , sera appliquée au point g , et la voûte doit être tenue en équilibre par cette pression p et par la poussée horizontale P qui agit au sommet de la voûte. Sur chacun des autres joints $a'b'$, $a''b''$, etc., il existe des points g' , g'' , etc., analogues à g ; tous ces points déterminent une courbe, que M. Méry appelle *courbe*

des pressions, qui est très-propre à éclairer sur l'équilibre de la voûte.

Si cette courbe passe au sommet C de la voûte, au point b de l'intrados et au point extérieur A , cela indique que la voûte tend à s'ouvrir à l'intrados au joint C , à l'extrados au joint ab , et que le pied-droit tend à tourner autour de l'arête extérieure A .

La courbe des pressions n'atteignant pas les points C , b et A , mais s'en rapprochant comme l'indique la figure, elle montre encore que ces points sont les plus faibles de la voûte.

La résultante de toutes les pressions qui s'exercent sur le joint ab passant par le point g où la courbe des pressions rencontre ce joint, la moitié des composantes de p agissent sur la portion bg , qui doit y résister sans s'écraser; il en est de même de chacune des portions eA , $b'g'$, $b''g''$, Cg''' .

Nous disons que bg doit être capable de supporter la moitié de la pression qui s'exerce sur le joint ba ; mais remarquons que la pression allant en augmentant depuis le point g jusqu'en b , l'arête b s'écraserait si on s'en tenait pour bg à la limite exigée par une demi-pression répartie uniformément.

On n'a rien de bien positif sur la manière dont la pression se répartit sur un joint, mais on admet généralement qu'étant à son maximum en b , elle décroît proportionnellement à la distance de ce point; de sorte que la pression étant moyenne en g , elle est nulle au point h qui donne $hg = 2gb$ (la pression totale étant représentée par la surface d'un triangle dont hb est la hauteur, g le centre de gravité, et dont la base, que nous représenterons par k , est proportionnelle à la pression maximum en b ; en tout autre point, la pression est représentée par la parallèle menée en ce point à la base du triangle).

Cela posé, comme il est évident qu'au point b la pression k ne doit pas dépasser la limite que comporte la pierre, il en résulte que la partie bg doit être capable de supporter une charge représentée par $k \times bg$, et comme la pression totale sur le joint ab est $k \times \frac{3}{2}bg$, l'on voit que bg doit être capable de supporter les $\frac{2}{3}$ de la charge totale du joint, et non la moitié.

La pression s'exerçant suivant la tangente à la courbe des pres-

sions, cette courbe, par son inclinaison sur les divers points, sert encore à faire connaître les points où le glissement est à craindre. α étant l'angle que fait la direction de la pression avec le joint du voussoir, l'effort qui agit suivant la direction du joint, pour produire le glissement, est $p \cos \alpha$, l'effort normal au joint, est $p \sin \alpha$, et 0,76 étant le coefficient de frottement ordinairement adopté, on doit avoir, pour qu'il y ait stabilité, $p \cos \alpha < p \sin \alpha \times 0,76$ ou $\cos \alpha < \sin \alpha \times 0,76$ (n^{os} 37 et 38).

524. *Tracé de la courbe des pressions.* Une voûte exigeant, pour sa stabilité, que son épaisseur et celle de ses pieds-droits soient plus considérables que ne l'exige l'équilibre statique, on conçoit que la courbe des pressions peut y prendre une infinité de positions différentes sans qu'il soit possible de préciser celle qui se réalisera, cette position dépendant du tassement que l'on ne peut prévoir exactement, et des surcharges accidentelles auxquelles la voûte peut être soumise.

Prenons, figure 31, planche 111, sur le plan des naissances le point m , paraissant, par sa distance au point b , devoir appartenir à la courbe des pressions (la partie bm doit pouvoir supporter sans s'écraser les $2/3$ de la charge du joint ab (523); prenons également sur le joint vertical cd le point n , paraissant, par sa distance au point c , appartenir à la courbe des pressions, et proposons-nous de tracer cette courbe passant par m et n , c'est-à-dire de trouver les points en lesquels elle rencontre les joints ef , hi , etc.

On calcule le poids du voussoir $cdb'a$, et on détermine la position de son centre de gravité, soit KG la verticale passant par ce centre de gravité; prolongeons cette verticale jusqu'à l'horizontale nX , joignons Km , prenons KS proportionnelle au poids trouvé, et terminant le parallélogramme $KSRP$, KP est proportionnelle à la poussée horizontale, et la diagonale KR à la pression totale p sur le joint ab . Cela fait, soit kg la verticale passant par le centre de gravité du voussoir $cdfe$; prenons ks proportionnel au poids de ce voussoir, et kp égal à la poussée horizontale KP ; construisons le parallélogramme $ksrp$; la diagonale kr représente l'intensité et la direction de la pression sur le joint ef , et le point o , où elle rencontre ce joint, est un des points de la courbe des pressions. Opérant sur le voussoir $cdih$ comme sur $cdfe$, on détermine le point q

où la courbe rencontre le joint hi , et par la même marche on déterminerait tous les autres points de cette courbe.

Si les points m et n ont été mal choisis, on ne tarde pas à s'en apercevoir; la courbe que l'on obtient sort des limites convenables, ou conduit à une épaisseur démesurée de pieds-droits; on fait alors une nouvelle hypothèse sur la position de ces points, et on construit une nouvelle courbe, en se servant évidemment des poids et des positions des centres de gravité des voussoirs qui ont servi pour la première courbe.

Supposant que la voûte est construite en matériaux assez résistants pour que la pression pût s'exercer sur les arêtes des voussoirs sans les écraser, il est évident qu'il y aura équilibre tant que la courbe des pressions ne dépassera en aucun point la limite des voussoirs; mais qu'aussitôt cette limite dépassée, l'équilibre sera rompu si la voûte n'est pas consolidée par des armatures ou des mortiers d'une résistance supérieure à l'effort qui tend à rompre l'équilibre. Avec les matériaux ordinairement employés, les distances de la courbe aux extrémités de chaque joint doivent être telles, que chacune d'elles soit capable de supporter une charge uniformément répartie, égale aux $2/3$ de la charge totale qui repose sur le joint. Lorsque deux voûtes opposées s'appuient sur un même pied-droit, on peut s'en tenir à l'épaisseur statique, c'est-à-dire à celle où la courbe des pressions passe aux extrémités des joints de la clef, des reins et du plan des naissances; parce que, outre que les poussées contraires rendent tout mouvement du pied-droit impossible, la maçonnerie qui relie les deux voûtes au-dessus du plan des naissances rend impossible le glissement et le renversement de la partie de voûte comprise entre les naissances et les reins. Il est évident que le massif de maçonnerie qui doit relier les deux voûtes doit être construit au moins jusqu'aux joints de rupture des voûtes, avant le décentrement et le chargement.

525. M. Petit, capitaine du génie, a donné les tableaux suivants des valeurs des angles de rupture, c'est-à-dire des angles que forment avec la verticale les rayons menés du centre de la voûte aux joints de rupture. (Extrait du n^o 12 du *Mémorial de l'officier du génie.*)

1° Table des angles de rupture, des poussées et des épaisseurs limites des pieds-droits des voûtes en plein-cintre à extrados parallèles, sans aucune maçonnerie ni surcharge sur la voûte.

VALEUR du rapport $\frac{R}{r}$	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur.	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados.		RAPPORT $\sqrt{2C}$ de l'épaisseur limite du pied- droit au rayon de l'intrados, stabilité de Lahire.
			Cas de la rotation.	Cas du glissement.	
2.732	1.154	0° 00'	0.00000	0.98923	
2.70	1.176	13 42	0.00211	0.96262	
2.65	1.212	22 00	0.00310	0.92168	
2.60	1.250	27 30	0.00809	0.88151	
2.50	1.333	35 52	0.02283	0.80346	
2.40	1.428	42 6	0.04109	0.72847	
2.30	1.538	46 47	0.06835	0.65654	
2.20	1.666	51 4	0.08648	0.58767	
2.10	1.810	54 27	0.10926	0.52186	
2.00	2.000	57 17	0.13017	0.45912	1.3223
1.90	2.282	59 37	0.14813	0.39943	1.2320
1.80	2.500	61 24	0.16373	0.34281	1.1414
1.70	2.857	62 53	0.17180	0.28924	1.0484
1.60	3.333	63 49	0.17517	0.23874	0.9525
1.50	3.389	63 52	0.17533	0.23386	0.9427
1.58	3.448	63 55	0.17535	0.22901	0.9329
1.57	3.508	63 58	0.17524	0.22434	0.9233
1.56	3.571	64 1	0.17499	0.21940	0.9131
1.55	3.636	64 3	0.17478	0.21464	0.9031
1.54	3.703	64 5	0.17445	0.20991	0.8931
1.53	3.773	64 7	0.17397	0.20521	0.8831
1.52	3.846	64 8	0.17352	0.20054	0.8730
1.51	3.920	64 8	0.17310	0.19590	0.8628
1.50	4.000	64 9	0.17254	0.19130	0.8527
1.49	4.081	64 8	0.17180	0.18673	0.8424
1.48	4.166	64 8	0.17095	0.18218	0.8320
1.47	4.255	64 7	0.17008	0.17766	0.8216
1.46	4.347	64 6	0.16915	0.17318	0.8112
1.45	4.444	64 5	0.16798	0.16872	0.8007
1.44	4.545	64 3	0.16683	0.16430	0.7962
1.43	4.651	64 0	0.16568	0.15991	0.7934
1.42	4.761	63 56	0.16448	0.15555	0.7906
1.41	4.878	63 52	0.16317	0.15122	0.7874
1.40	5.000	63 48	0.16167	0.14691	0.7838
1.39	5.128	63 43	0.16014	0.14264	0.7801
1.38	5.263	63 38	0.15845	0.13841	0.7760
1.37	5.406	63 32	0.15672	0.13420	0.7717
1.36	5.555	63 26	0.15482	0.13002	0.7670
1.35	5.714	63 19	0.15287	0.12587	0.7622
1.34	5.882	63 10	0.15096	0.12176	0.7574
1.33	6.060	63 00	0.14896	0.11767	0.7524
1.32	6.264	62 50	0.14678	0.11362	0.7468
1.31	6.451	62 33	0.14510	0.10959	0.7425
1.30	6.666	62 14	0.14330	0.10559	0.7379
1.29	6.896	62 9	0.14013	0.10163	0.7297
1.28	7.142	62 3	0.13691	0.09770	0.7213
1.27	7.407	61 47	0.13430	0.09370	0.7144

VALEUR du rapport $\frac{R}{r}$	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur.	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados.		RAPPORT $\sqrt{2C}$ de l'épaisseur limite du pied- droit au rayon de l'intrados, stabilité de Lahire.
			Cas de la rotation.	Cas du glissement.	
1.26	7.692	61 30	0.13157	0.08992	0.7071
1.25	8 000	61 15	0.12847	0.08608	0.6987
1.24	8.333	61 1	0.12516	0.08227	0.6896
1.23	8.695	60 40	0.12201	0.07849	0.6809
1.22	9.090	60 19	0.11887	0.07474	0.6721
1.21	9.523	60 00	0.11516	0.07102	0.6615
1.20	10.000	59 41	0.11140	0.06733	0.6504
1.19	10.526	59 10	0.10791	0.06368	0.6404
1.18	11.111	58 40	0.10417	0.06005	0.6292
1.17	11.764	58 9	0.10021	0.05646	0.6171
1.16	12.500	57 40	0.09593	0.05289	0.6038
1.15	13.333	57 1	0.09176	0.04935	0.5905
1.14	14.285	56 23	0.08729	0.04585	0.5759
1.13	15.384	55 45	0.08254	0.04237	0.5601
1.12	16.666	54 48	0.07789	0.03984	0.5444
1.11	18.181	54 10	0.07273	0.03552	0.5259
1.10	20.000	53 15	0.06754	0.03213	0.5066
1.09	22.222	52 14	0.06177	0.02879	
1.08	25.000	51 7	0.05649	0.02546	
1.07	28.571	49 48	0.05065	0.02217	
1.06	33.333	48 18	0.04455	0.01891	
1.05	40.000	46 32	0.03813	0.01568	
1.04	50.000	44 4	0.03139	0.01249	
1.03	66.666	41 4	0.02459	0.00932	
1.02	100.000	38 12	0.01691	0.00618	
1.01	200.000	32 36	0.00889	0.00308	
1.00	Infini.	0 00	0.00009	0.00000	

Observations sur la table précédente, et usage de cette table.

R rayon de l'extrados;

r rayon de l'intrados;

C rapport de la poussée horizontale maximum agissant à la clef au carré du rayon r.

Pour obtenir la valeur de la poussée horizontale en kilogrammes, par mètre courant de longueur de voûte, il suffit de multiplier le produit Cr^2 par le poids d'un mètre cube de maçonnerie, qui est ordinairement de 2250 kilogrammes pour le moellon.

L'auteur de cette table remarque que la rupture des voûtes en plein cintre à extrados parallèle n'a lieu que par rotation à l'intérieur, autour d'un joint des reins ou par glissement à l'intérieur sur un des joints.

Les valeurs du rapport C sont calculées, dans les cas du glissement, en supposant le coefficient du frottement égal à 0,577; c'est la valeur donnée par Rondelet pour des parallélépipèdes en pierre de liais, équarris et dressés au grès, glissant sur un plan de même pierre et dressé de même. De ses expériences, Boissard conclut qu'il faut faire ce coefficient égal à 0,76 pour la maçonnerie. }

L'examen des valeurs de C fait voir que, dès que le rapport $\frac{R}{r}$ descend à 1,44, la poussée horizontale devient plus faible pour produire le glissement que pour produire la rotation; par conséquent, pour les voûtes donnant $\frac{R}{r}$ supérieur à 1,44, on adoptera les valeurs de C dues au glissement; pour les valeurs de $\frac{R}{r}$ de 1,44 et au-dessous, on adoptera les valeurs de C dues à la rotation. Un interligne horizontal, placé dans les colonnes de la table, indique la limite où l'une des valeurs de C commence à surpasser l'autre.

L'épaisseur-limite du pied-droit, dont il est question dans la 6^e colonne de la table, est l'épaisseur qu'il faudrait adopter si la hauteur du pied-droit était infinie. Dans les cas ordinaires de la pratique, quand on n'a pas besoin d'une très-grande stabilité, on peut réduire cette épaisseur-limite de 1/10 environ.

Soit à déterminer, par exemple, l'épaisseur-limite à donner aux pieds-droits d'une voûte à extradossés parallèle, de 5 mètres de diamètre, en faisant usage de la table précédente.

On commence par déterminer l'épaisseur de la voûte d'après la formule de Perrenet, ce qui donne :

$$e = 0.0347d + 0.325 = 0.0347 \times 5 + 0.325 = 0^m,498. \quad (521)$$

On a donc $r = 2^m,50$, $R = 2^m,998$, et par suite,

$$\frac{R}{r} = 1.20.$$

Ce rapport étant moindre que 1,44, la poussée par rotation est supérieure à celle par glissement, et on doit prendre

$$C = 0,11140.$$

La poussée par mètre courant est alors

$$0,11140 \times r^2 \times 2250 = 0,11140 \times 2,50 \times 2,50 \times 2250 = 1566 \text{ kilog.}$$

L'épaisseur-limite des pieds-droits est, en adoptant la stabilité de Lahire,

$$\sqrt{2C} \times r = 0,6504 \times 2,50 = 1^m,626.$$

Si les pieds-droits, au lieu d'être supposés avoir une hauteur infinie, n'avaient que 3 mètres de hauteur, on pourrait, d'après une application d'une formule de M. Petit, faite par M. Morin, réduire l'épaisseur 1^m,626 à 1^m,457.

2° Table des angles de rupture, des poussées et des épaisseurs limites des pieds-droits des voûtes en plein cintre extradossées en chape à 45°. Ce sont des voûtes en plein cintre extradossées parallèlement, mais couvertes d'une chape de maçonnerie dont le plan supérieur est incliné à 45° à l'horizon, et tangent à l'extrados de la voûte.

VALEUR du rapport $\frac{R}{r}$	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur.	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados.		RAPPORT $\sqrt{2C}$ de l'épaisseur- limite du pied- droit au rayon de l'intrados, stabilité de Vauban.
			Cas de la rotation.	Cas du glissement.	
2.00	2.000	60°	0.26424	0.74361	1.7246
1.90	2.222	60	0.28416	0.65648	1.6204
1.80	2.500	60	0.29907	0.57383	1.5147
1.70	2.857	60	0.30867	0.49564	1.4081
1.60	3.333	60	0.31245	0.42191	1.2990
1.59	3.389	60	0.31249	0.41478	1.2880
1.58	3.448	60	0.31257	0.40841	1.2781
1.57	3.508	61	0.31264	0.40067	1.2660
1.56	3.571	61	0.31246	0.39367	1.2548
1.55	3.636	61	0.31222	0.38673	1.2437
1.54	3.703	61	0.31191	0.37983	1.2318
1.53	3.773	61	0.31153	0.37297	1.2214
1.52	3.846	61	0.31108	0.36615	1.2102
1.51	3.920	61	0.31056	0.35938	1.1989
1.50	4.000	61	0.30996	0.35266	1.1877
1.49	4.081	61	0.30928	0.34598	1.1764
1.48	4.166	61	0.30855	0.33934	1.1650
1.47	4.255	61	0.30772	0.33275	1.1537
1.46	4.347	60	0.30685	0.32621	1.1422
1.45	4.444	60	0.30587	0.31971	1.1308
1.44	4.545	60	0.30485	0.31325	1.1193
1.43	4.651	60	0.30408	0.30684	1.1078
1.42	4.761	60	0.30296	0.30047	1.1008
1.41	4.878	60	0.30173		1.0986
1.40	5.000	59	0.30001	0.28787	1.0954
1.39	5.128	59	0.29712		1.0914
1.38	5.263	59	0.29706		1.0893
1.37	5.406	59	0.29550		1.0872
1.36	5.555	59	0.29386		1.0841
1.35	5.714	58	0.29285		1.0823
1.34	5.882	58	0.29037		1.0777
1.33	6.060	58	0.28850		1.0742
1.32	6.264	58	0.28654		1.0705
1.31	6.451	57	0.28456		1.0668
1.30	6.666	57	0.28231	0.22756	1.0626
1.29	6.896	57	0.28027		1.0588
1.28	7.142	56	0.27810		1.0547
1.27	7.407	56	0.27578		1.0503
1.26	7.692	55	0.27343		1.0458
1.25	8.000	54	0.27102		1.0412
1.24	8.333	53	0.26850		1.0363
1.23	8.695	53	0.26608		1.0316
1.22	9.090	52	0.26377		1.0272
1.21	9.523	51	0.26074		1.0217

VALEUR du rapport $\frac{R}{r}$	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur.	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados.		RAPPORT $\sqrt{2C}$ de l'épaisseur- limite du pied- droit au rayon de l'intrados, stabilité de Vauban.
			Cas de la rotation.	Cas du glissement.	
1.20	10.000	50°	0.25806	0.17171	1.0160
1.19	10.526	50	0.25546		1.0109
1.18	11.111	49	0.25277		1.0045
1.17	11.764	49	0.25010		1.0002
1.16	12.500	48	0.24742		0.9948
1.15	13.333	47	0.24477		0.9894
1.14	14.285	46	0.24218		0.9842
1.13	15.384	44	0.23967		0.9791
1.12	16.666	43	0.23732		0.9743
1.11	18.181	43	0.23502	0.12032	0.9695
1.10	20.000	42	0.23292		0.9652
1.05	40.000	36	0.22902		0.9571

Les observations de la table 1^o s'appliquent également à celle-ci; et, pour déterminer l'épaisseur-limite des pieds-droits, on suit aussi la même marche; ainsi, on commence par déterminer l'épaisseur de la voûte extradossée parallèlement, à l'aide de la formule de Perronnet; on a alors $\frac{R}{r}$; le tableau donne la valeur de C qui correspond à ce rapport; de cette valeur de C, on conclut la poussée horizontale, ainsi que l'épaisseur-limite des pieds-droits. En opérant de cette manière, on trouverait, pour une voûte de 8 mètres de diamètre à l'intrados,

$$e = 0^m.6026, \frac{R}{r} = 1,15, C = 0,24477;$$

la poussée horizontale par mètre courant est $0,24477 \times r^2 \times 2250 = 8811$ kilog., et l'épaisseur-limite des pieds-droits est, en adoptant la stabilité de Vauban, $\sqrt{2C} \times r = 0,9894 \times r = 3^m,9576$; les pieds-droits ayant 5 mètres de hauteur, on pourrait prendre pour leur épaisseur $3^m,676$.

3^o Table des angles de rupture, des poussées et des épaisseurs limites des pieds-droits des voûtes en plein cintre extradossées horizontalement. Ce sont des voûtes en plein cintre extradossées parallèlement, et couvertes d'un massif de maçonnerie dont le plan supérieur est horizontal et tangent à l'extrados de la voûte.

VALEUR du rapport $\frac{R}{r}$	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur.	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados.		RAPPORT $\sqrt{2C}$ de l'épaisseur- limite du pied- droit au rayon de l'intrados, stabilité de Lahire.
			Cas de la rotation.	Cas du glissement.	
2.00	2.000	36°	0.05486	0.50358	1.3834
1.90	2.222	39	0.07101	0.43966	1.2925
1.80	2.500	44	0.08850	0.37901	1.2001
1.70	2.857	48	0.10631	0.32164	1.1055
1.60	3.333	52	0.12300	0.26755	1.0082
1.59	3.389	52	0.12453	0.26232	0.9984
1.58	3.448	53	0.12602	0.25712	0.9885
1.57	3.508	53	0.12747	0.25196	0.9784
1.56	3.571	54	0.12837	0.24683	0.9684
1.55	3.636	54	0.13027	0.24173	0.9584
1.54	3.703	55	0.13153	0.23667	0.9483
1.53	3.773	55	0.13289	0.23163	0.9381
1.52	3.846	55	0.13414	0.22664	0.9280
1.51	3.920	55	0.13531	0.22167	0.9177
1.50	4.000	56	0.13648	0.21673	0.9075
1.49	4.081	56	0.13756	0.21183	0.8972
1.48	4.166	56	0.13856	0.20696	0.8868
1.47	4.255	57	0.13952	0.20213	0.8764
1.46	4.347	57	0.14041	0.19733	0.8659
1.45	4.444	57	0.14122	0.19256	0.8554
1.44	4.545	58	0.14195	0.18782	0.8448
1.43	4.651	58	0.14268	0.18312	0.8341
1.42	4.761	58	0.14311	0.17845	0.8234
1.41	4.878	59	0.14376	0.17381	0.8126
1.40	5.000	59	0.14421	0.16920	0.8018
1.39	5.128	59	0.14456	0.16463	0.7909
1.38	5.263	59	0.14481	0.16009	0.7799
1.37	5.406	60	0.14498	0.15558	0.7689
1.36	5.555	60	0.14506	0.15111	0.7577
1.35	5.714	60	0.14504	0.14666	0.7465
1.34	5.882	60	0.14491	0.14225	0.7420
1.33	6.060	61	0.14467		0.7414
1.32	6.264	61	0.14460		0.7412
1.31	6.451	61	0.14390		0.7394
1.30	6.666	61	0.14332	0.12495	0.7379
1.29	6.896	61	0.14264		0.7362
1.28	7.142	62	0.14186		0.7342
1.27	7.407	62	0.14101		0.7320
1.26	7.692	62	0.13988		0.7290
1.25	8.000	62	0.13872	0.10405	0.7260
1.24	8.333	62	0.13737		0.7225
1.23	8.695	63	0.13593		0.7187
1.22	9.090	63	0.13437		0.7145
1.21	9.523	63	0.13263		0.7099

VALEUR du rapport $\frac{R}{r}$	RAPPORT du diamètre à l'épaisseur.	VALEUR de l'angle de rupture.	RAPPORT C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados.		RAPPORT $\sqrt{2C}$ de l'épaisseur- limite du pied- droit au rayon de l'intrados, <i>stabilité de Lahire.</i>
			Cas de la rotation.	Cas du glissement.	
1.20	10.000	63°	0.13073	0.08397	0.7048
1.19	10.526	63	0.12870		0.6993
1.18	11.111	63	0.12650		0.6933
1.17	11.764	64	0.12415		0.6868
1.16	12.500	64	0.12182		0.6803
1.15	13.333	64	0.11895	0.06471	0.6723
1.14	14.285	64	0.11608		0.6641
1.13	15.384	64	0.11303		0.6553
1.12	16.666	64	0.10979		0.6459
1.11	18.181	65	0.10641		0.6358
1.10	20.000	65	0.10279	0.04627	0.6249
1.09	22.222	66	0.098992		0.6133
1.08	25.000	66	0.094967		0.6007
1.07	28.571	67	0.091189		0.5886
1.06	33.333	68	0.086376		0.5729
1.05	40.000	69	0.081755	0.02865	0.5573
1.04	50.000	70	0.076857		
1.03	66.666	71	0.071853		
1.02	100.000	73	0.066469		
1.01	200.000	74	0.061324		
1.00	Infini.	75	0.055472	0.01185	

Les observations des tables 1° et 2° s'appliquent également à cette dernière, et pour une voûte de 10 mètres de diamètre à l'intrados, la règle de Perronnet donne

$$e = 0^m,672,$$

d'où on conclut $\frac{R}{r} = 1,13$, $C = 0,11303$; la poussée horizontale par mètre courant est $0,11303 \times r^2 \times 2250 = 6359$ kilog., et l'épaisseur-limite des pieds-droits, en adoptant la stabilité de Lahire, $\sqrt{2C} \times r = 0,6553 \times 5 = 3^m,2765$. Si les pieds-droits n'avaient qu'une hauteur de 5 mètres, on pourrait prendre pour leur épaisseur $2^m,8075$.

526. M. Petit a encore considéré les voûtes en arc de cercle extradossées parallèlement. Il convient de distinguer le cas où la moitié α de l'angle au centre, correspondant à l'arc de la voûte, est plus grand que l'angle de rupture donné par la table 1°, page 654, pour une voûte en plein cintre extradossée parallèlement et pour une même valeur de $\frac{R}{r}$, et le cas où α est plus petit que cet angle de rupture.

R rayon de l'arc d'extrados;
r rayon de l'arc d'intrados. Ayant r , on détermine l'épaisseur de la voûte à la clef, et par suite R, à l'aide de la règle de Perronnet (521).

1° Si α est plus petit que l'angle de rupture, la poussée horizontale est la même que si la voûte était en plein cintre avec R et r pour rayons, et se calcule comme au 1° du numéro précédent. Quant à l'épaisseur-limite e des pieds-droits, on la calcule à l'aide de la formule

$$E = r \sqrt{3,8C}.$$

C a la valeur consignée table 1°, page 654.

Dans les cas ordinaires de la pratique, on peut diminuer de 1/10 cette épaisseur-limite.

2° Si le demi-angle α est plus petit que l'angle de rupture donné table 1°, page 654, ce qui a lieu ordinairement en pratique, on calculera le rapport C de la poussée au carré du rayon de l'intrados, à l'aide de la table suivante, relative à sept valeurs différentes de α ; ayant C, on déterminera l'épaisseur-limite des pieds-droits à l'aide de la formule

$$E = r \sqrt{3,8C}.$$

Table des poussées des voûtes en arc de cercle extradossées parallèlement
(*l* est l'ouverture de la voûte et *f* la flèche de l'arc d'intrados).

VALEUR du rapport $\frac{R}{r}$	Rapport C de la poussée au carré du rayon <i>r</i> , pour						
	$l=4f$ $r=2,500f$ $\alpha=53^{\circ}7'30''$	$l=5f$ $r=3,625f$ $\alpha=43^{\circ}36'10''$	$l=6f$ $r=5f$ $\alpha=36^{\circ}52'10''$	$l=7f$ $r=6,025f$ $\alpha=31^{\circ}53'26''$	$l=8f$ $r=8,500f$ $\alpha=28^{\circ}4'20''$	$l=10f$ $r=13f$ $\alpha=22^{\circ}37'10''$	$l=16f$ $r=32,5f$ $\alpha=14^{\circ}15'0''$
1.40	0.15445	0.14691	0.14691	0.14691	0.14691	0.14478	
1.35	0.14717	0.13030	0.12587	0.12587	0.12587	0.12405	
1.34	0.14543	0.12987	0.12171	0.12171	0.12171	0.11999	
1.33	0.14364	0.12781	0.11767	0.11767	0.11767	0.11596	
1.32	0.14173	0.12634	0.11362	0.11362	0.11362	0.11196	
1.31	0.13975	0.12486	0.10959	0.10959	0.10959	0.10800	
1.30	0.13764	0.12331	0.10682	0.10559	0.10559	0.10406	
1.29	0.13543	0.12164	0.10563	0.10163	0.10163	0.10016	
1.28	0.13311	0.11988	0.10437	0.09770	0.09770	0.09628	
1.27	0.13068	0.11803	0.10304	0.09379	0.09379	0.09244	
1.26	0.12815	0.11609	0.10160	0.08992	0.08992	0.08862	
1.25	0.12547	0.11402	0.10009	0.08668	0.08668	0.08483	0.07189
1.24	0.12270	0.11251	0.09850	0.08549	0.08227	0.08108	0.06862
1.23	0.12031	0.10958	0.09679	0.08423	0.07849	0.07735	0.06547
1.22	0.11675	0.10725	0.09499	0.08291	0.07474	0.07366	0.06234
1.21	0.11354	0.10460	0.09305	0.08148	0.07102	0.06999	0.05924
1.20	0.11023	0.10196	0.09102	0.07999	0.06981	0.06636	0.05616
1.19	0.10676	0.09915	0.08895	0.07834	0.06859	0.06275	0.05311
1.18	0.10313	0.09617	0.08653	0.07651	0.06727	0.05918	0.05008
1.17	0.09934	0.09303	0.08408	0.07468	0.06583	0.05212	0.04709
1.16	0.09537	0.08975	0.08144	0.07264	0.06420	0.05004	0.04411
1.15	0.09123	0.08634	0.07866	0.07050	0.06259	0.04904	0.04116
1.14	0.08690	0.08257	0.07568	0.06812	0.06077	0.04803	0.03824
1.13	0.08238	0.07869	0.07251	0.06558	0.05890	0.04671	0.03534
1.12	0.07764	0.07459	0.06911	0.06297	0.05659	0.04451	0.03247
1.11	0.07269	0.07042	0.06548	0.06026	0.05421	0.04384	0.02962
1.10	0.06737	0.06563	0.06158	0.05666	0.05160	0.04214	0.02681
1.09	0.06211	0.06077	0.05739	0.05345	0.04871	0.04023	0.02401
1.08	0.05636	0.05652	0.05288	0.04934	0.04552	0.03806	0.02192
1.07	0.05052	0.05011	0.04804	0.04426	0.04200	0.03560	0.02111
1.06	0.04431	0.04428	0.04280	0.04058	0.03864	0.03276	0.02002
1.05	0.03776	0.03804	0.03709	0.03550	0.03357	0.02944	0.01882
1.04	0.03096	0.03144	0.03095	0.02992	0.02862	0.02561	0.01720
1.03	0.02378	0.02437	0.02424	0.02369	0.02293	0.02131	0.01524
1.02	0.01625	0.01681	0.01690	0.01673	0.01640	0.01546	0.01199
1.01	0.00834	0.00871	0.00886	0.00889	0.00885	0.00862	0.00747

Pour une voûte extradossée parallèlement, dont $\alpha = 28^{\circ}4'20''$, $l = 8f = 8$ mètres, et $r = 8,5f = 8^m,5$, la formule de Perronnet (521) donne pour épaisseur de la voûte à la clef

$$e = 0^m,915 \quad \text{d'où} \quad R = 9^m,415 \quad \text{et} \quad \frac{R}{r} = 1,107;$$

Ce rapport tombant entre les valeurs 1,10 et 1,11 du tableau, la différence de la valeur de C correspondant à 1,107, et de la valeur correspondant à 1,11 se détermine à l'aide de la proportion

$$1,11 - 1,10 : 0,05421 - 0,05160 :: 1,11 - 1,107 : x,$$

d'où $x = 0,000783$, et par suite $C = 0,05343$.

L'épaisseur-limite des pieds-droits est alors

$$E = 8,5 \sqrt{3,8 \times 0,05343} = 3^m,825.$$

Pour une hauteur de pieds-droits de $4^m,25$, on pourrait faire $E = 3^m,244$.

Glissement des voûtes en arc de cercle sur les joints de leurs naissances. Le frottement, par mètre courant, de la voûte sur le joint de chaque naissance a pour expression, en adoptant ici 0,76 pour coefficient de frottement,

$$0,38\alpha \left(\frac{R^2}{r^2} - 1 \right) r^2 \times 2250 \text{ kilogram.}$$

α est le demi-arc, exprimé en mètres, correspondant à l'angle au centre qui correspond à l'arc de la voûte, l'arc α étant décrit avec un mètre pour rayon;

ainsi, pour un angle au centre de 25° , on a $\alpha = \frac{25 \times 2 \times 3,14}{360} = 0^m,436$.

La poussée horizontale par mètre courant est, en prenant pour C la valeur consignée au tableau précédent,

$$Cr^2 \times 2250 \text{ kilogram.}$$

Pour le système $l = 4f$, la poussée surpasse le frottement quand

$\frac{R}{r}$ est égal ou inférieur à 1,06. Pour les systèmes $l = 5f$, $l = 6f$,

$l = 7f$, $l = 8f$ et $l = 10f$, le glissement commence à $\frac{R}{r} = 1,15$. Pour

le système $l = 16f$ et tous les systèmes plus surbaissés, le glissement a lieu quelle que soit l'épaisseur de la voûte.

Lorsque la poussée dépasse le frottement, il faut employer des

tirants, arcs-boutants, etc., capables de résister à l'excès de la poussée sur le frottement.

Pour les voûtes en anse de panier on calculera l'épaisseur à donner aux pieds-droits, comme pour une voûte en arc de cercle de même ouverture et de même flèche.

527. *Murs de soutènement.* L'épaisseur à donner à ces murs varie selon la poussée des terres à soutenir, poussée qui dépend de l'inclinaison du talus affecté par ces terres lorsqu'elles sont abandonnées à elles-mêmes.

Supposons, figure 32, planche 111, que les terres à soutenir aient *ce* pour talus naturel. Supposant que le prisme *bce* soit d'un seul morceau, il se maintiendra en équilibre sans exercer aucune poussée sur le mur *abcd*; mais si nous considérons un prisme *bef*, il est évident qu'il exercera contre le mur une poussée due à son poids, et diminuée par le frottement des terres sur le talus *cf*, et par la cohésion (cette cohésion peut être considérée comme nulle pour les terres remuées, comme le sont généralement celles que l'on rapporte derrière les murs de soutènement, et nous allons d'abord la supposer telle dans ce qui suit); si maintenant nous considérons un prisme très-mince le long du parement *cb*, il est évident qu'il exercera contre le mur une poussée moindre que celle du prisme *bef*. Il existe donc entre le prisme qui s'applique sur le talus *ce*, et le prisme infiniment mince pris contre le parement *cb*, un prisme qui doit exercer une plus grande poussée que tous les autres que l'on peut considérer entre ces deux limites.

On prouve facilement, mais par des calculs assez longs, et que nous ne pouvons rapporter ici, que le prisme de plus grande poussée est déterminé par la bissectrice de l'angle formé par la verticale *cb* et le talus naturel *ce*.

Supposant l'angle $bef = \frac{1}{2}\alpha$, le prisme *bef* est celui de plus grande poussée, et on a

$$Q = \frac{\delta h^2}{2} \tan^2 \frac{1}{2}\alpha. \quad (a)$$

- Q poussée des terres contre le parement vertical *bc*;
 δ poids du mètre cube de terre;
h hauteur *bc* des terres derrière le mur;
 α angle de la verticale *cb* avec le talus naturel *ce*.

Dans le cas où le frottement et la cohésion sont nuls, ce qui a lieu pour les liquides, l'angle α est droit, on a $\tan \frac{1}{2}\alpha = 1$, et, par suite,

$$Q = \frac{\delta h^2}{2}.$$

Il s'agit de déterminer le point d'application de la poussée totale *Q*: or, comme on démontre que cette poussée totale sur le parement du mur peut être représentée par la surface d'un triangle dont la hauteur est *h*, et dont la base et les parallèles à cette base représentent les pressions au pied du mur et sur les divers points respectifs de la hauteur de son parement, il en résulte que la résultante *Q* de toutes les pressions est appliquée au centre de gravité du triangle, c'est-à-dire à $\frac{1}{3}$ de *h* à partir du pied *c* du mur.

Il y aura équilibre statique quand le moment de la force *Q*, pris par rapport à l'arête extérieure du mur, sera égal au moment du poids du mur, pris par rapport à cette arête, c'est-à-dire quand on aura

$$\frac{\delta h^3}{6} \tan^2 \frac{1}{2}\alpha = \delta \left[\frac{nh^2}{2} \times \frac{2nh}{3} + hx \left(nh + \frac{x}{2} \right) + \frac{n'h^2}{2} \left(nh + x + \frac{1}{3}n'h \right) \right]; (b)$$

équation du second degré qui donne la valeur de *x*, laquelle est, en simplifiant,

$$x = h \left[- \left(n + \frac{n'}{2} \right) \pm \sqrt{\frac{\delta}{3\delta'} \tan^2 \frac{1}{2}\alpha + \frac{n^2}{3} - \frac{n'^2}{12}} \right].$$

- δ' poids du mètre cube de maçonnerie;
n fruit, par mètre de hauteur du mur, du parement extérieur;
 $\delta' \frac{nh^2}{2} \times \frac{2nh}{3}$ moment du massif formant le parement extérieur;
x largeur du mur à sa partie supérieure;
 $\delta' hx \left(nh + \frac{x}{2} \right)$ moment du massif de mur compris entre ceux qui forment les fruits;
n' fruit, par mètre, du parement intérieur du mur;
 $\delta' \frac{n'h^2}{2} \left(nh + x + \frac{1}{3}n'h \right)$ moment du massif de maçonnerie formant le fruit du parement intérieur.

Nous avons négligé le prisme de terre compris entre le parement

intérieur et la verticale passant par le pied du mur ; mais, comme le parement intérieur se fait par retraites horizontales, ce prisme de terre ajoutée, par son poids, à la stabilité du mur au lieu d'y nuire.

Lorsque les parements du mur sont verticaux, les valeurs de n et de n' sont nulles, et la formule précédente devient

$$x = h \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} \alpha \sqrt{\frac{\delta}{3\delta'}}.$$

Lorsque le mur résiste à un fluide, on a $\operatorname{tang} \frac{1}{2} \alpha = 1$, et, par suite,

$$x = h \sqrt{\frac{\delta}{3\delta'}}.$$

Si le prisme de plus grande poussée était chargé d'un cavalier, à $\frac{\delta h^2}{2}$, il faudrait ajouter ph dans la valeur de Q (p poids du cavalier sur l'unité de surface du terrain), de sorte que le moment de cette poussée deviendrait

$$\frac{h^3}{6} \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} \alpha (\delta h + 2p),$$

et la formule (b) donnerait

$$x = h \left[-\left(n + \frac{n'}{2}\right) \pm \sqrt{\frac{\operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} \alpha}{3\delta'} \left(\delta + \frac{2p}{h}\right) + \frac{n^2}{3} - \frac{n'^2}{12}} \right].$$

Le mur doit pouvoir résister non-seulement au renversement, mais aussi au glissement sur sa base ; il faut donc que la poussée Q des terres soit moindre que le frottement de glissement augmenté de la cohésion entre le mur et sa base, et que, par conséquent, pour l'équilibre statique, on ait

$$\frac{\delta h^2}{2} \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} \alpha - k\delta' \left(\frac{nh^2}{2} + hx + \frac{n'h^2}{2}\right) + c(nh + x + n'h).$$

d'où on tire

$$x = \frac{h^2}{2} \times \frac{\delta \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} \alpha - (n + n') \left(k\delta' + \frac{2c}{h}\right)}{k\delta' h + c}.$$

Les valeurs de δ et de δ' sont données au n° 29 ;

Quant à la valeur de l'angle α , sous lequel les terres coulantes s'éboulent, il convient de la déterminer directement, en creusant la terre. Pour le sable fin très-sec, on a $\alpha = 60^\circ$, pour la terre sèche et pulvérisée $\alpha = 46^\circ, 50$, pour la terre humectée $\alpha = 54^\circ$, et pour les terres les plus fortes et les plus denses $\alpha = 35^\circ$;

k coefficient du frottement du mur sur sa base ; si le mur est établi sur une couche de béton, on a $k = 0,76$; s'il repose sur le sol naturel (terre ou sable), $k = 0,57$, d'après des observations de M. Mary ; sur rocher, on aurait, comme pour la maçonnerie, $k = 0,76$,

c cohésion du mur sur sa base par mètre carré de cette base ; si le mur repose sur béton, $c = 10\,000$ à $144\,000$, selon que le mortier employé est de médiocre ou d'excellente qualité ; la maçonnerie n'ayant aucune cohésion avec un sol de terre ou de sable, on doit faire $c = 0$, dans la formule, quand le mur repose directement sur le sol.

Quand les terres ont de la cohésion, la valeur de la poussée horizontale est

$$Q = \frac{\delta h}{2} \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} \alpha (h - h').$$

h' profondeur à laquelle on a creusé les terres à pic avant leur éboulement, la surface des terres ayant été dressée horizontalement.

On déterminerait l'épaisseur à donner au mur pour résister à cette valeur de Q , de la même manière que quand la cohésion est nulle ; il suffirait de remplacer dans les formules précédentes la valeur de Q (formule (a)) par cette nouvelle.

Toutes les formules précédentes fournissent l'épaisseur à donner au mur pour qu'il y ait équilibre statique ; mais il est évident que cette épaisseur ne suffit pas en pratique, et qu'on doit l'augmenter, pour obtenir une stabilité convenable, d'une quantité qui dépend de la nature de la fondation sur laquelle repose le mur ; car l'arête autour de laquelle le mur tend à tourner s'enfonce avec d'autant moins de peine, et le renversement est d'autant plus facile, que la fondation est plus compressible. Il conviendrait, par des observations sur les constructions existantes, ou par des expériences directes, de déterminer le coefficient par lequel il faut multiplier le moment d'équilibre statique du mur, pour avoir une stabilité

convenable pour chaque nature de fondation. D'après Gauthey, les dimensions calculées à l'aide des formules précédentes, où on a fait abstraction de la cohésion des terres, peuvent être adoptées avec confiance en pratique, surtout si on exécute les remblais derrière les murs à mesure qu'on les élève, afin de donner aux terres le temps de tasser et d'adhérer entre elles. Mais ces formules supposent que la base sur laquelle le mur est élevé est incompressible; et comme le défaut de soin et de précaution dans la fondation est une des causes les plus fréquentes de la destruction des murs de revêtement, et que la moindre inégalité dans le tassement peut faire sortir le mur de son à-plomb, il convient presque toujours d'ajouter quelque chose à l'épaisseur donnée par les formules, et d'avoir égard à la nature de la fondation et à son degré de compressibilité pour fixer la largeur de l'empiètement sur lequel le mur est établi.

Lorsque le mur est établi sur un sol très-mauvais, il convient que le moment de stabilité du mur, pris par rapport à la ligne passant par le milieu de la base du mur, fasse équilibre au moment de la poussée des terres; car, alors, le mur pressant également en tous les points de sa base, le tassement est aussi uniforme que possible; on obtient cette disposition en donnant un grand fruit au parement extérieur.

Afin d'augmenter le moment de stabilité du mur, on construit des contre-forts sur le parement intérieur; ces contre-forts ont encore l'avantage de diviser le prisme de plus grande poussée. Gauthey a imaginé, pour un mur de quai de Châlon-sur-Saône, de faire servir ces contre-forts comme pieds-droits de plusieurs voûtes étagées à différentes hauteurs et reliées également au parement intérieur du mur.

528. *Murs de revêtement.* D'après Vauban, les profils des murs de rempart sont convenables lorsque le moment de la résistance est des $\frac{4}{5}$ plus fort que celui de la poussée des terres. C'est pour cette résistance que M. Poncelet a donné la formule empirique suivante, pour calculer l'épaisseur des revêtements pleins à parements verticaux

$$x = 0,845 (H + h) \operatorname{tang} \frac{1}{2} \alpha \sqrt{\frac{p}{p'}},$$

ce qui donne pour le cas des maçonneries moyennes :

$$x = 0,285 (H + h).$$

x	épaisseur du mur;
H	hauteur du revêtement;
h	hauteur entière de la surcharge;
α	angle du talus naturel des terres avec la verticale;
p	poids du mètre cube de terre;
p'	poids du mètre cube de maçonnerie.

Ces formules sont applicables dans les limites de $h=0$ et $h=H$, qui correspondent aux surcharges ordinaires de la pratique.

Si le parement extérieur, au lieu d'être vertical, avait une inclinaison moindre que $1/6$, on prendrait l'épaisseur déduite de la formule précédente pour celle du revêtement cherché, mesurée à $1/9$ de la hauteur à partir de la base. Cette règle est fondée sur le principe suivant.

Principe général de transformation d'un profil en un autre, d'après Vauban. Tous les profils de revêtements à parement intérieur vertical, de même hauteur et même stabilité, mais dont les parements extérieurs sont inclinés à moins de $1/6$ sur la verticale, ont, à $1/120$ près, la même épaisseur au $1/9$ de leur hauteur à partir de la base; d'où il résulte que jusqu'à cette limite, pour transformer un profil en un autre, il suffit de faire tourner le parement extérieur donné autour d'une horizontale comme axe, jusqu'à ce qu'il ait l'inclinaison voulue, cette horizontale étant tracée dans le parement donné, et au $1/9$ de sa hauteur.

Lorsque l'inclinaison du talus extérieur varie de 0 à $1/5$, la même égalité a encore lieu, mais seulement à $1/71$ près.

Table donnant les épaisseurs x des revêtements pour les diverses terres et maçonneries, avec ou sans berme, et pour des hauteurs de surcharges qui dépassent les limites ordinaires de la pratique; ces épaisseurs étant calculées en prenant la hauteur H des revêtements verticaux pour unité, et dans l'hypothèse de la rotation, et d'une stabilité équivalente à celle du revêtement modèle de Vauban, sans contre-fort.

Les lettres x , H , h , p et p' ont les mêmes significations que dans les formules précédentes; mais ici $\text{tang } \alpha = f$.

VALEUR de $\frac{h}{H}$	VALEUR DE x pour $\frac{p'}{p} = 1$ $f = 0.6$		VALEUR DE x pour $\frac{p'}{p} = 1$ $f = 1.4$		VALEUR DE x pour $\frac{p'}{p} = 1.5$ $f = 1$			VALEUR DE x pour $\frac{p'}{p} = \frac{5}{3}$ $f = 0.06$		VALEUR DE x pour $\frac{p'}{p} = \frac{5}{3}$ $f = 1.4$	
	la berme étant		la berme étant		la berme étant			la berme étant		la berme étant	
	nuile.	0,2H.	nuile.	0,2H.	nuile.	0,2H.	totale.	nuile.	0,2H.	nuile.	0,2H.
0.0	0.452	0.452	0.258	0.258	0.270	0.270	0.270	0.350	0.350	0.198	0.198
0.1	0.498	0.507	0.282	0.290	0.303	0.306	0.303	0.393	0.398	0.222	0.229
0.2	0.548	0.563	0.309	0.326	0.336	0.342	0.326	0.439	0.445	0.249	0.262
0.3	0.604	0.618	0.338	0.361	0.368	0.375	0.343	0.485	0.489	0.274	0.283
0.4	0.665	0.670	0.369	0.394	0.399	0.405	0.357	0.532	0.522	0.303	0.299
0.5	0.726	0.717	0.402	0.423	0.436	0.431	0.368	0.579	0.549	0.332	0.314
0.6	0.778	0.754	0.436	0.450	0.477	0.457	0.377	0.617	0.572	0.360	0.328
0.7	0.824	0.790	0.472	0.476	0.512	0.481	0.385	0.645	0.593	0.387	0.343
0.8	0.867	0.820	0.510	0.501	0.544	0.504	0.391	0.668	0.610	0.413	0.357
0.9	0.903	0.848	0.541	0.524	0.575	0.523	0.398	0.690	0.624	0.437	0.371
1.0	0.930	0.873	0.571	0.546	0.605	0.540	0.405	0.707	0.636	0.457	0.384
1.2	0.983	0.916	0.632	0.586	0.654	0.574	0.411	0.737	0.655	0.498	0.410
1.4	1.023	0.945	0.684	0.624	0.696	0.602	0.416	0.762	0.672	0.537	0.428
1.6	1.056	0.970	0.730	0.658	0.734	0.622	0.420	0.780	0.685	0.566	0.445
1.8	1.084	0.990	0.772	0.690	0.769	0.640	0.423	0.797	0.697	0.594	0.461
2.0	1.107	1.004	0.812	0.714	0.795	0.655	0.425	0.811	0.705	0.622	0.475
2.5	1.151	1.037	0.902	0.778	0.848	0.690	0.431	0.833	0.722	0.680	0.506
3.0	1.180	1.060	0.981	0.835	0.892	0.717	0.435	0.852	0.731	0.726	0.531
3.5	1.203	1.074	1.047	0.883	0.928	0.738	0.438	0.862	0.737	0.765	0.551
4.0	1.222	1.084	1.105	0.926	0.957	0.755	0.442	0.872	0.742	0.800	0.568
4.5	1.237	1.093	1.158	0.962	0.981	0.768	0.444	0.878	0.747	0.833	0.583
5.0	1.247	1.101	1.206	0.994	1.002	0.779	0.445	0.883	0.751	0.862	0.596
5.5	1.254	1.109	1.250	1.021	1.019	0.788	0.447	0.886	0.756	0.885	0.607
6.0	1.259	1.116	1.290	1.047	1.034	0.796	0.448	0.891	0.759	0.903	0.617
7.0	1.269	1.122	1.357	1.087	1.059	0.811	0.449	0.898	0.764	0.941	0.633
8.0	1.276	1.128	1.415	1.121	1.079	0.822	0.451	0.903	0.768	0.968	0.646
9.0	1.280	1.133	1.465	1.153	1.095	0.830	0.452	0.906	0.770	0.992	0.657
10.0	1.283	1.137	1.508	1.182	1.109	0.839	0.452	0.909	0.771	1.013	0.667
15.0	1.298	1.150	1.662	1.271	1.149	0.864	0.455	0.917	0.777	1.088	0.696
20.0	1.309	1.156	1.757	1.327	1.171	0.878	0.456	0.922	0.780	1.129	0.712
25.0	1.312	1.160	1.821	1.363	1.185	0.887	0.457	0.924	0.782	1.146	0.723
30.0	1.316	1.162	1.866	1.389	1.194	0.894	0.458	0.926	0.783	1.174	0.730
Infini	1.337	1.176	2.144	1.541	1.243	0.927	0.461	0.934	0.789	1.279	0.769

Épaisseur d'un batardeau en maçonnerie. Cette épaisseur se cal-

cule par une formule semblable à celle qui donne l'épaisseur d'un mur de revêtement; ainsi on a, en remarquant que dans ce cas h est négatif, et que $p = 1000$ kilog.,

$$x = 0,845(H-h) \sqrt{\frac{1000}{p}}$$

Épaisseur d'un mur en pierres sèches. On prend ordinairement pour cette épaisseur $1/4$ en sus de celle que donneraient les formules précédentes pour un revêtement en maçonnerie, de même hauteur et placé dans les mêmes circonstances.

PONTS EN BOIS.

529. *Ponts en charpente.* Ces ponts, lorsqu'ils sont d'une certaine importance, doivent être établis sur piles et culées en pierre; pour une communication de moindre importance, on fait ordinairement les supports en bois, surtout ceux intermédiaires; cependant, avant de donner la préférence au bois, il faut avoir égard aux interruptions de communication que nécessiteront les réparations plus fréquentes, à la moindre durée du pont, aux difficultés que l'on rencontrera pour fonder les supports en pierre et en bois, à la plus ou moins grande largeur de débouché que l'on obtient suivant que l'on emploie le bois ou la pierre, à la moins grande résistance que les palées présentent aux énormes glaçons que charrient quelques rivières, et aux prix des matériaux employés.

Nous ne pouvons entrer dans tous les détails de construction des ponts en bois, dont la forme d'ensemble et les dispositions des diverses pièces de charpente peuvent varier à l'infini. Dans une telle construction, l'ingénieur doit étudier avec soin de quelle manière résistent les différentes pièces, afin d'en bien proportionner les dimensions, et combiner les pièces entre elles de manière à former des ensembles capables de résister à tous les efforts qui peuvent les solliciter dans les diverses directions.

Quand le cours d'eau est sujet aux débâcles, il est indispensable de préserver les palées par une pièce de bois inclinée servant de chapeau à plusieurs pieux, et formant avec eux un ensemble isolé de la palée. Ce chapeau s'élève du dessous du niveau des basses

eaux au-dessus de celui des plus hautes; sa surface supérieure est formée de deux plans inclinés dont on arme l'intersection par une barre de fer contre laquelle viennent se briser les glaces.

PONTES MÉTALLIQUES.

530. *Ponts en métal.* Les fermes des ponts peuvent être faites de fer ou de fonte, ou de ces deux métaux réunis, ou encore de chacun de ces deux métaux combinés avec le bois. Dans ces sortes de fermes, il convient d'employer la fonte pour résister aux efforts de pression, et le fer pour résister à ceux de traction. Ces fermes métalliques s'établissent sur des piles et culées en pierre.

PONTES SUSPENDUS.

531. *Ponts suspendus.* Dans ce système de pont, comme le fait voir la planche 111, figure 33, une chaîne en fer ou un câble en fil de fer, dont les extrémités sont solidement amarrées dans le sol, passe sur deux piliers en maçonnerie, et sert à supporter, à l'aide de tiges en fer, le tablier du pont.

Les tiges de suspension a, b, c , etc., étant toutes également éloignées horizontalement, et le poids total, câble, tiges et tablier, étant le même entre deux tiges consécutives quelconques, ce qui a lieu sensiblement dans un pont suspendu, les points d'attache a, b, c, d , etc., des tiges sur le câble, sont sur une même parabole dont l'équation est

$$y = \frac{p}{2Q} (x^2 - x_0^2).$$

- y et x coordonnées d'un quelconque des points a, b, c, d , etc.;
 x_0 abscisse du premier point a placé sur la partie horizontale aa' ;
 p charge par mètre de longueur de tablier; elle comprend le poids du câble, des tiges et du tablier;
 Q tension horizontale de la chaîne; c'est la seule force qui sollicite la partie horizontale aa' .

Si au lieu d'avoir un côté horizontal aa' , le point d'attache a se trouvait au sommet de la courbe, on aurait $x_0 = 0$, et l'équation précédente deviendrait

$$y = \frac{p}{2Q} x^2.$$

Si dans cette équation on fait $y = f$, flèche du pont, et $x = \frac{d}{2}$, demi-ouverture, on en conclut :

$$Q = \frac{pd^2}{8f}.$$

532. *Tension des chaînes.* Toutes les autres forces qui sollicitent les différents points de la chaîne étant verticales, il en résulte que la tension horizontale Q est constante, et que si on considère une autre partie quelconque eg de la chaîne, sa tension sera la résultante de la force horizontale Q , et d'une force verticale égale à la somme des poids appliqués depuis le point e jusqu'au sommet de la courbe, poids qui est égal à px , x , étant l'abscisse du point milieu de eg . Comme les deux composantes Q et px sont perpendiculaires entre elles, leur résultante, que nous désignerons par T , sera :

$$T = \sqrt{Q^2 + p^2 x^2}.$$

La tension de la chaîne est à son maximum au sommet du pilier; et pour ce point, si on représente par T la tension, on a :

$$T = \sqrt{Q^2 + p^2 \frac{d^2}{4}};$$

remplaçant Q par sa valeur, on a :

$$T = \sqrt{\frac{p^2 d^4}{64 f^2} + p^2 \frac{d^2}{4}} = \frac{pd}{4f} \sqrt{\frac{d^2}{4} + 4f^2}.$$

Formule à l'aide de laquelle on calculera la section des câbles.

533. *Longueurs des tiges de suspension.* On a :

$$y = \frac{p}{2Q} x^2 = \frac{4f}{d^2} x^2. \quad (531)$$

Donnant successivement à x les valeurs qui correspondent aux diverses positions des tiges, on en conclut les valeurs respectives de y , et en ajoutant à chacune des valeurs de y une longueur égale à la distance à laquelle les diverses tiges descendent au-dessous du sommet de la courbe, on aura les longueurs des tiges.

Quand on aura besoin de connaître la longueur totale de toutes les tiges, s'il y a une tige placée au sommet de la courbe, la somme de toutes les parties comprises au-dessus du niveau de ce sommet, et pour chaque côté de ce sommet, sera égale à la somme de toutes les valeurs précédentes de y , c'est-à-dire à

$$s = \frac{4f^2}{d^2} (1^2 + 2^2 + 3^2 + \text{etc.}).$$

Or, la somme des carrés des n premiers nombres entiers consécutifs étant $\frac{1}{6}n(n+1)(2n+1)$, cette formule devient :

$$s = \frac{2f^2}{3d^2} n(n+1)(2n+1).$$

- s somme totale des parties de tiges comprises au-dessus du sommet de la courbe, pour un côté de ce sommet ;
 f flèche du pont, ou mieux, distance verticale du sommet de la courbe au-dessous du point le plus élevé de la partie de courbe que l'on considère ;
 l distance des tiges ; $l, 2l, 3l$, etc., sont les diverses valeurs que l'on a substituées à x pour obtenir la formule précédente ;
 d ouverture du pont, ou mieux, double de la longueur de tablier qui correspond à la partie de courbe considérée.

Lorsqu'il n'y a pas de tige au sommet, si on fait $l = \frac{l}{2}$, on remarque que l'abscisse du premier point d'attache est l , que celle du deuxième point est $3l$, que celle du troisième est $5l$, etc., et on a :

$$s = \frac{4f^2}{d^2} (1^2 + 3^2 + 5^2 + \text{etc.}).$$

Or, la somme des carrés des n premiers nombres impairs étant $\frac{1}{3}n(4n^2 - 1)$, il vient :

$$s = \frac{4f^2}{3d^2} n(4n^2 - 1).$$

Pour avoir la longueur totale des tiges, à la somme s des parties supérieures au point bas de la courbe, il faut ajouter la somme des parties inférieures à ce point. Si le plancher est horizontal, cette seconde somme est égale à la quantité dont chaque tige descend au-

dessous du point bas, multipliée par le nombre des tiges. Si le tablier a une forme parabolique, on peut calculer cette seconde somme en procédant de la même manière que pour la première ; mais, dans cette évaluation de longueur totale, on peut supposer que toutes les tiges descendent à une même distance au-dessous du point bas de la courbe.

M. Mary rapporte avoir oui dire à un constructeur de ponts suspendus, que, pour ne pas s'inquiéter du bombement du tablier, il calculait la longueur de ses tiges dans l'hypothèse d'un tablier horizontal, et qu'il donnait à la chaîne une longueur diminuée de manière à relever le sommet de la parabole du bombement qu'il voulait donner au plancher. D'après le même constructeur, une travée de 100 mètres s'abaisserait de 0^m,10 au sommet après la pose du tablier ; il faut donc avoir égard à cette circonstance en réglant la longueur des tiges.

534. *Longueur de la chaîne.* Cette longueur est égale à la somme des différentes parties droites comprises entre les différents points de suspension. En remarquant que l'une quelconque u_n de ces parties est l'hypoténuse d'un triangle rectangle dont l'un des côtés est la distance l des tiges, et dont l'autre est la différence des deux ordonnées y_n et y_{n-1} des deux extrémités de la partie droite considérée (533), il en résulte qu'on a :

$$u_n = \sqrt{l^2 + (y_n - y_{n-1})^2}.$$

Calculant de même la longueur des divers éléments de la chaîne, en en faisant la somme, on aura la longueur totale.

On conçoit que ces calculs sont assez longs ; dans le plus grand nombre de cas on n'a pas besoin d'avoir la longueur rigoureuse de la chaîne, et on peut la supposer égale à la longueur de la parabole circonscrite, longueur qui est, pour un demi-côté,

$$L = \frac{d}{2} \left(1 + \frac{8f^2}{3d^2} \right). \quad (a)$$

La chaîne étant symétrique par rapport au point bas, on aura sa longueur totale entre ses deux points de suspension, en doublant cette valeur de L . Si la chaîne ne s'élevait pas à la même hauteur à ses deux extrémités, on calculerait la longueur L' de la seconde

partie comme on a calculé L , en modifiant convenablement d et f (533).

535. *Piliers inégalement élevés.* Toutes les formules précédentes s'appliquent encore à ce cas ; mais en considérant séparément chaque partie de la courbe, à droite et à gauche du point bas, et en faisant, pour chaque partie, f égale à la hauteur du pilier qui y correspond, et d égal au double de la distance horizontale du point bas au point le plus élevé de la partie considérée. Il convient donc de déterminer la distance du sommet de la courbe à chacun des points de suspension. Soient h_1 et h_2 les hauteurs des piliers, d la distance totale des points de suspension, d_1 la distance horizontale du sommet de la courbe au point de suspension placé à la hauteur h_1 , et d_2 sa distance au point placé à la hauteur h_2 , on aura :

$$d_1 = \frac{d\sqrt{h_1}}{\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}}, \text{ et par suite } d_2 = d - d_1;$$

On a aussi :

$$d_2 = \frac{d\sqrt{h_2}}{\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}}.$$

536. *Augmentation de la longueur de la chaîne et de la flèche par suite de la dilatation et de la tension de la chaîne.* L étant la longueur de la chaîne, le fer s'allongeant de $0^m,0000122$ par degré centigrade (191), pour une augmentation de température de t° , la longueur L s'allongera de

$$\delta = L \times 0,0000122 \times t;$$

et la longueur de la chaîne deviendra $L + \delta$.

Appelant x l'augmentation de la flèche, cette flèche deviendra $f + x$. Substituant ces nouvelles valeurs des longueurs de chaîne et de flèche dans la formule (a), n° 534, on a :

$$L + \delta = \frac{d}{2} \left(1 + \frac{8f^2 + 2fx + x^2}{d^2} \right).$$

Retranchant L du premier membre, et sa valeur du second (534), on a :

$$\delta = \frac{d}{2} \times \frac{8fx + x^2}{d^2};$$

d'où on tire, en négligeant x^2 , qui est très-petit près de fx ,

$$x = \frac{3d}{8f} \delta.$$

Cette formule, qui donne directement x en fonction de δ , n'est rigoureusement applicable que quand la courbe est symétrique par rapport à son point bas, c'est-à-dire quand les deux piliers s'élèvent à la même hauteur, et que, par suite, δ est l'allongement de chacune des deux parties de la chaîne.

On peut encore établir des formules semblables aux précédentes pour déterminer l'augmentation de flèche due à la tension des chaînes. Ainsi on a :

$$\delta' = \frac{L \times 0,000054 \times T}{\omega} = \frac{L \times T}{18518\omega}.$$

δ' allongement de la longueur de la demi-parabole;

L longueur de la demi-parabole (534);

$0^m,000054$ allongement d'une tige de fer de 1 mètre de longueur et de 1 millimètre carré de section, sous une tension de 1 kilogramme (159);

T tension du câble en kilogrammes; cette dernière formule la suppose uniforme sur toute la longueur de la chaîne;

ω section de la chaîne en millimètres carrés.

Représentant par x' l'augmentation de flèche due à δ' , on a encore :

$$x' = \frac{3d}{8f} \delta'.$$

537. *Section des chaînes et des tiges.* La tension des chaînes variant en tous les points de la longueur, il en résulte que la section pourrait être variable en tous ces points. Cependant on fait cette section constante, et suffisante pour résister avec toute sécurité à la valeur maximum de T , valeur qui correspond au point le plus élevé de la courbe (532). Quoique le fer de l'échantillon employé pour les chaînes ne se rompe que sous un effort moyen de 40 kilogrammes par millimètre carré de section, les autorités prescrivent de ne pas le soumettre à une charge de plus de 12 kilogrammes. Pour le fil de fer, la charge maximum prescrite est de 18 kilogrammes, quoiqu'il ne se rompe que sous une tension moyenne de 60 kilogrammes (159). Ainsi, selon que l'on fera usage du fer forgé ou du

fil de fer, ω étant, en millimètres, la section des chaînes ou des câbles, on aura au minimum :

$$\omega = \frac{T}{12} \quad \text{ou} \quad \omega = \frac{T}{18}.$$

ω est la section de tous les câbles, quand, dans la valeur de T (532), p comprend le poids de tout le tablier, de toutes les tiges, des chaînes, et la surcharge de 200 kilogrammes par mètre carré que l'on répartit sur tout le pont lors de l'essai. Connaissant ω , en divisant par le nombre total de chaînes, on aura la section de chacune d'elles, que l'on place en même nombre de chaque côté du pont.

Nous disons que p contient le poids de la chaîne; mais comme ce poids n'est pas connu, puisqu'il dépend de la section, il convient de lui attribuer une valeur que l'on préjuge convenable, de déterminer la valeur de T correspondante, et par suite celle de ω ; de cette valeur de ω on conclut une seconde valeur de p qui permet de calculer T et ω aussi exactement qu'il est nécessaire.

La section des chaînes, multipliée par leur longueur (534), puis par la densité du fer, donnera leur poids total.

De la charge d'une tige de suspension, on calculera la section comme pour les chaînes. La charge d'une tige est égale à la moitié du poids d'une longueur de tablier égale à la distance de deux tiges successives, plus la moitié du poids de la plus lourde voiture qui peut passer sur le pont (24); il conviendrait encore de faire entrer le poids de la tige dans la charge qu'elle supporte, mais ce poids est négligeable.

538. *Fabrication des chaînes et des tiges.* Le fer forgé employé à la fabrication des chaînes doit être en fer de première qualité. Ces chaînes doivent être faites avec le plus grand soin; les boulons de jonction des chaînons doivent avoir exactement le même diamètre que l'œil qui les reçoit.

Quelques précautions que l'on prenne à la fabrication des chaînes en fer forgé, il leur est arrivé de se rompre, en Angleterre, où le fer est de très-bonne qualité, aussi bien qu'en France. Les câbles en fil de fer au contraire ne se sont jamais rompus. Quant à la durée des chaînes et des câbles, l'expérience n'a pas encore prononcé,

mais on admet qu'elle est la même pour les chaînes que pour les câbles.

Les fils de fer ordinairement employés à la fabrication des câbles ont 0^m,00275 et 0^m,00308 de diamètre, ce qui donne pour sections respectives 5^{mill}^c,94, et 7^{mill}^c,45; le premier est dit du n° 17 et le second du n° 18. Les bouts de fil ont environ 150 mètres de longueur. En les mettant en câbles, on a soin d'opérer sur le fil une traction constante et suffisante pour faire disparaître les ondulations qu'il a prises par suite de la disposition en couronne qu'on lui donne pour le livrer au commerce. Quand un bout est placé sur le câble, on relie son extrémité à un autre bout, afin que le câble terminé soit comme formé d'un seul bout. Pour réunir les bouts de deux fils, on les croise sur une longueur de 0^m,10, et sur 0^m,07 de ce croisement on les serre avec un fil recuit du n° 4, dont on met les spires en contact.

Si la température varie pendant la fabrication du câble, il convient de rendre mobile une des croupières sur lesquelles passe le fil à l'extrémité du câble, afin d'opérer sur cette croupière une traction qui tienne toujours bien tendue la partie de câble fabriquée, malgré son allongement dû à la dilatation. Par cette disposition, une fois le câble fabriqué, tous les fils y sont dans un même état de tension, ce qui est de la plus grande importance pour la solidité du câble. Afin de reconnaître à chaque instant en quel point doit se trouver la croupière mobile, avant de commencer le câble, on tend un fil de fer allant d'une extrémité du câble à l'autre; on tient ce fil dans un état de tension constante à l'aide d'un poids, lequel étant fixé à l'extrémité d'un fil flexible passant sur une poulie mobile, donne, par son mouvement, les allongements ou raccourcissements du fil étalon, et par suite la position que doit occuper la croupière mobile.

D'après les expériences de M. Leblanc, pour faire disparaître toutes les inflexions que les fils prennent, par suite de leur mise en couronnes, et qu'ils tendent à conserver lorsqu'on les met en câbles, il faut, avant de les contourner sur chaque croupière, les soumettre à une tension de 300 à 500 kilog. Cette précaution porte la résistance du câble aux 0,86 ou 0,90 de la somme des résistances de tous les fils de fer pris séparément; au lieu que si cette traction

préalable n'est que de 50 kilog., la résistance totale n'est que les 0,84, et les 0,81 seulement si la tension n'est que de 25 kilog.

Lorsque tout le fil est placé en écheveau sur les deux croupières, on réunit les deux brins de l'écheveau pour en former le câble à l'aide de fil de fer dont on fait toucher les spires. D'après M. Leblanc, les câbles autour desquels il y a le plus de ligatures sont les plus résistants. Ordinairement, les ligatures ont de 0^m,10 à 0^m,11 de longueur et sont éloignées d'un espace à peu près double.

Afin de préserver les câbles de l'oxydation, avant de mettre les fils en écheveaux, on les fait passer deux ou trois fois dans un bain d'huile de lin bouillante rendue siccativée à l'aide de litharge; puis, quand le câble est fabriqué et relié de mètre en mètre par des ligatures provisoires, on y applique une nouvelle couche d'huile de lin rendue siccativée, comme les couches appliquées par immersion. Dans cet état, les câbles sont conservés sous un hangar en les préservant des chocs qui, en enlevant le vernis, rendent l'oxydation facile.

Les tiges de suspension du tablier sont en fer forgé lorsqu'on emploie des chaînes; avec les câbles en fil de fer, on peut les faire en fil de fer, mais généralement on les fait en fer; elles sont plus faciles à fabriquer, et on est plus maître d'en régler la longueur de manière à donner un bombement convenable au plancher lors de sa pose. Les tiges en fil de fer, sans exiger autant de soin et sans être aussi difficiles, se fabriquent par les mêmes procédés que les câbles: on les enveloppe également de ligatures; elles sont habituellement en fils des n^{os} 17 ou 18.

539. *Piliers.* Les chaînes ou câbles passent sur des piliers élevés sur les culées, puis s'infléchissent au delà de ces piliers pour pénétrer dans des massifs de maçonnerie reliés à la culée et auxquels on les fixe solidement.

Le prolongement sA (figure 33, planche 111) de la chaîne, au delà du pilier, s'appelle *chaîne de retenue*; il est soumis à la tension maximum T de la chaîne au sommet s (532), et le pilier doit avoir une section suffisante pour résister à la résultante de ces deux tensions égales.

La tension de la chaîne au point s est dirigée suivant la tangente à la courbe en ce point, c'est-à-dire suivant sB qui rencontre l'axe

des y au point B donnant OB = OC, et comme ordinairement les deux angles BsD et AsD sont égaux, il s'ensuit que la résultante de la tension T de la chaîne de suspension et de celle égale de la chaîne de retenue est dirigée suivant la verticale sD; d'où T étant représentée par sB, cette résultante le sera par sD, et en la représentant par R, on a :

$$R : T :: sD \text{ ou } 4f : sB \text{ ou } \sqrt{\frac{d^2}{4} + 4f^2}, \text{ d'où } R = \frac{4fT}{\sqrt{\frac{d^2}{4} + 4f^2}}.$$

Remplaçant dans cette formule T par sa valeur (532), il vient

$$R = pd;$$

ainsi le pilier est chargé d'un poids égal à celui du tablier.

Les mêmes lettres ont les mêmes significations qu'au n^o 533.

Connaissant la valeur de R, il sera facile de calculer la section à donner aux piliers pour y résister (160).

Lorsque l'angle AsD n'est pas égal à l'angle BsD, la résultante R partage encore l'angle AsB en deux parties égales, et n'est plus par conséquent dirigé suivant la verticale sD; alors R se décompose en deux forces, l'une verticale, dirigée suivant sD et qui agit par compression sur le pilier, l'autre horizontale, et qui tend à renverser le pilier, et à le faire glisser sur sa base ou sur ses joints: le pilier doit avoir des dimensions suffisantes pour résister à l'une et à l'autre de ces composantes.

Quelquefois un pilier sépare deux travées dont les câbles sont fixés à son sommet; dans ce cas, la tension de chaque câble se décompose en deux forces, l'une verticale et l'autre horizontale. Les forces verticales s'ajoutent et le pilier doit résister à leur somme sans s'écraser. Les forces horizontales se retranchent, et leur différence ne doit pas être suffisante pour faire tourner le pilier autour de l'arête extérieure de sa base, c'est-à-dire que le moment de cette différence, pris par rapport à cette arête, doit être moindre que celui du poids du pilier, augmenté de celui de la somme des composantes verticales des tensions, pris également par rapport à cette même arête. Il ne faut pas non plus que cette force horizontale soit

suffisante pour faire glisser le pilier sur sa base, ni sur aucun de ses joints. Pour éviter ce dernier glissement, on relie toutes les assises du pilier par 4 tirants en fer qui s'élèvent du bas du pilier jusqu'au sommet, où ils se boulonnent sur la plaque de fonte qui porte les chevallots auxquels sont fixés les câbles.

Il faut aussi que la résultante des tensions ne soit pas suffisante pour faire rompre les piliers suivant sa direction. Pour éviter cela, quand cette résultante est considérable, il convient de relier entre elles les pierres d'une même assise par des crochets ou des ancrs horizontales. La section du pilier étant suffisante pour résister à la composante verticale des tensions, on peut dire que l'on n'a pas à craindre cette rupture oblique suivant la direction de la résultante, tant que cette direction ne passe pas hors de la base du pilier.

Pour évaluer la composante horizontale qui tend à renverser le pilier, on suppose l'une des travées du pont chargée de 200 kilog. par mètre carré de tablier, et qu'aucune surcharge ne repose sur l'autre; ce cas est le plus défavorable, mais il se présente. La pierre des piliers ne doit pas travailler sous une pression supérieure à celle indiquée n° 160, et même dans quelques ponts, au pont de Fribourg par exemple, on a réduit la charge à 1 kilog. seulement par centimètre carré; dans les ponts construits avec de la pierre ordinaire, les voussoirs travaillent souvent à 20 kilog. par centimètre carré. Le pont de Fribourg est le pont suspendu le plus grand qui existe, il a 265^m,26 entre les appuis.

Dans quelques ponts, on a remplacé les piliers en pierre par des bielles en fonte placées chacune dans la direction de la résultante des tensions des deux parties du câble qui s'infléchit sur son sommet.

540. *Massif d'amarrage.* La chaîne de retenue, arrivée au sol, y pénètre en ligne droite, ou ordinairement en s'infléchissant de nouveau, afin de diminuer la longueur du massif d'amarrage, qu'alors on relie facilement à la culée de manière à ne faire qu'un massif de leur ensemble. Dans les ponts où les culées avancent de manière à être isolées, le plus souvent chaque massif d'amarrage se relie à la culée par un des murs en retour; par cette disposition, la maçonnerie de ces murs est doublement utilisée.

Quelle que soit la forme du massif, son ensemble doit être suffisant pour résister à la tension T qui le sollicite suivant As (fig. 33, pl. 111).

Supposons d'abord que la chaîne de retenue ne s'infléchisse pas au point A, et soit α l'angle que fait sA avec la verticale, et P le poids du massif. La tension T se décompose en deux forces, l'une, $T \cos \alpha$, laquelle étant verticale, tend à soulever le massif de maçonnerie, et par conséquent à diminuer la pression et par suite le frottement de celui-ci sur sa base; l'autre, $T \sin \alpha$, laquelle étant horizontale, tend à faire glisser le massif sur sa base.

Pour que le massif ne soit pas soulevé, il faut que l'on ait :

$$T \cos \alpha < P.$$

Pour que le massif ne glisse pas, on doit avoir :

$$T \sin \alpha < 0,76 (P - T \cos \alpha).$$

De plus, la tension T doit être moindre que la résultante, suivant sa direction, du poids P et de la résistance au glissement $0,76(P - T \cos \alpha)$.

0,76 est le coefficient de frottement du massif sur sa base, on doit négliger l'adhérence des mortiers, ces mortiers n'étant ordinairement pas entièrement secs lors de l'essai du pont (38).

Lorsque la chaîne s'infléchit, il faut placer le point d'inflexion dans le sol, afin de diminuer la tendance des assises supérieures à glisser. Le massif doit satisfaire aux conditions du cas précédent, et de plus la résultante des tensions des parties As et AE de la chaîne de retenue doit être insuffisante pour renverser la culée. Ordinairement la direction de cette résultante, qui divise l'angle des deux parties As et AE en deux parties égales, passe dans la base de la culée et ne tend pas à renverser le massif, si toutefois la fondation est assez solide pour que l'arête de la culée n'y pénètre pas.

Quoique la chaîne de retenue soulève une grande partie du massif d'amarrage, il n'en faut pas moins faire la fondation très-solide; parce que le massif étant plus fortement soulevé en des points de sa base qu'en d'autres, les affaissements inégaux sont à craindre.

La partie de câble placée dans le sol étant la plus sujette à l'oxydation, il conviendrait de la faire en fer forgé; dans tous les cas, on doit, avec soin, la couvrir de vernis. Comme, pour la solidité, on est obligé de faire étroites les cheminées de passage des câbles, et

que, par suite, on ne peut aller vérifier leur état, il convient de remplir les cheminées de chaux grasse réduite en pâte, et de placer à la surface de la chaux une couche de suif; par cette disposition, tout le métal étant privé d'air, il se préserve bien. Les cheminées ont de 0^m,08 à 0^m,12 de hauteur sur une largeur proportionnée à celle des faisceaux de câbles.

La clavette qui retient l'extrémité du câble repose sur une plaque de fonte; cependant des constructeurs la font directement reposer sur la pierre; mais alors il faut avoir bien soin de proportionner ses dimensions de manière qu'elle n'écrase pas la pierre sur laquelle elle repose. Il faut avoir soin d'éviter de reposer la plaque de fonte ou la clavette sur du bois, dont la prompte pourriture amènerait la chute du pont. On ménage dans le massif une cheminée verticale, qui permet d'aller constater à volonté l'état de la clavette d'amarrage. Une petite chambre, réservée en dessous de la clavette, permet d'y faire les réparations qui peuvent être nécessaires.

541. *Planchers.* Les planchers reposent sur des poutres, ordinairement en bois, supportées à chaque extrémité par une tige; ces poutres sont espacées de 1^m,25 à 1^m,50 environ; la partie de tablier qu'elles supportent, et la surcharge provenant des plus fortes voitures, guident pour en fixer les dimensions. Le cas le plus défavorable est celui où on suppose la moitié du poids de la partie de tablier qui y correspond appliquée en son milieu, ainsi que celui de la plus forte voiture (24 et 167). Il convient de remarquer que le plancher reporte, dans ce cas défavorable, une partie de la charge sur les poutres voisines.

Toutes les poutres sont reliées entre elles par 4 longrines, qui servent en même temps à surhausser les trottoirs, et par les madriers du premier plancher. Des contrevents en fer ou en bois empêchent le système de faire parallélogramme dans le sens horizontal.

Les madriers du premier plancher ont de 0^m,10 à 0^m,12 d'épaisseur, et on les espace de quelques centimètres pour que l'air circule le mieux possible entre eux. Le plancher supérieur a 0^m,05 à 0^m,06 d'épaisseur, les pièces en sont jointives et placées suivant la largeur du pont, afin que les pieds des chevaux y trouvent des appuis. On laisse, entre les extrémités des pièces de ce tablier et les

longrines qui supportent les trottoirs, un jeu de quelques centimètres, afin que les eaux trouvent un écoulement facile.

La largeur d'un pont suspendu dépasse rarement 8 mètres; au delà, les poutres exigent des dimensions trop fortes; sur ces 8 mètres, on prend 4^m,80 pour la chaussée, ce qui est nécessaire pour que deux voitures se croisent, et le reste est employé en trottoirs. Lorsque le pont est peu fréquenté et d'une faible longueur, on ne donne au passage des voitures que 2^m,20 à 2^m,40, et de 1^m,00 à 1^m,10 à chaque trottoir; la largeur d'un tel pont, sur lequel les voitures ne se croisent pas, n'a jamais été de moins de 4^m,40.

Si une largeur de 8 mètres n'était pas nécessaire, on pourrait reporter chaque trottoir à l'extérieur des tiges de suspension, sauf à en supporter, si cela était nécessaire, un côté par un câble séparé du faisceau supportant la chaussée et son autre côté.

542. *Garde-corps.* Quoique les garde-corps en bois enlèvent de la largeur au pont, il convient de les employer, à cause de la rigidité qu'ils communiquent au plancher; c'est pour mieux atteindre cet effet qu'il convient de les former d'une suite de croix de Saint-André. Leur hauteur varie de 0^m,90 à 1^m,00.

CANAUX.

543. *Division des canaux.* Un canal construit latéralement à une rivière que la pente, les sinuosités du lit et le régime des eaux ne permettent pas de rendre économiquement navigable, prend le nom de *canal latéral*. Un canal destiné à établir une communication entre deux cours d'eau navigables, prend le nom de *canal à point de partage*.

CANAL LATÉRAL.

544. *Tracé.* Un canal latéral a sa pente dans le même sens que le cours d'eau qu'il longe, et il suit constamment la même vallée. Sa position doit être choisie telle qu'il conserve l'eau nécessaire à la navigation, que le cours de la rivière ne puisse pas le dégrader, et que les dépenses en acquisition de terrain et en travaux soient les moindres possibles.

Lorsque le sol de la vallée est de gravier plus ou moins pur,

comme cela arrive souvent, ce sol étant très-perméable, on doit rechercher à placer le canal sur un sol végétal, en se rapprochant des coteaux; il est évident que c'est à celui des coteaux qui est le moins abrupte, le moins couvert d'habitations, celui dont le sol est le moins perméable et le plus facile à travailler, que l'on doit chercher à s'adosser. Il faut éviter de faire passer un canal d'une rive sur l'autre, cette disposition entraînant dans des inconvénients pour la navigation et des dépenses considérables pour la construction.

Lorsqu'on établit un canal sur un sol graveleux couvert d'une couche de terre végétale, il faut avoir soin de ne pas enlever toute cette dernière, qui est plus ou moins imperméable; on ferait des emprunts de part et d'autre de l'emplacement du canal pour en faire les digues, en ayant soin de placer les terres dans les parties en contact avec l'eau, et le gravier derrière ces terres.

La quantité d'eau dépensée dans un canal devant être la plus faible possible, il faut éviter de donner écoulement à l'eau. Aussi doit-on composer le canal de parties horizontales placées l'une à la suite de l'autre, à des étages différents, afin de racheter la pente du terrain, et d'éviter les grands travaux de construction en se rapprochant le plus possible de la surface du sol. On maintient l'eau à un niveau convenable dans ces différentes parties du canal, à l'aide de portes d'écluses; et, afin de dépenser le moins d'eau possible au passage d'un bateau d'un bief dans un autre, on place dans le bief inférieur une seconde porte d'écluse, éloignée de la première d'une distance au moins égale à la longueur du bateau. La partie de canal ainsi comprise entre deux portes prend le nom de *sas*. En ouvrant la porte d'amont, le niveau de l'eau s'établit dans le sas et le bief supérieur, et permet de faire passer un bateau de ce bief dans le sas; ouvrant alors la porte d'aval, l'eau dans le sas descend jusqu'au niveau du bief d'aval, et alors le bateau passe dans ce bief.

Pour faire passer un bateau d'un bief dans le bief supérieur, on procède de la même manière, mais en commençant d'abord par ouvrir la porte d'aval.

Comme il est impossible d'ouvrir les portes tant qu'il existe une différence de charge considérable sur leurs deux faces, on établit au bas de chacune d'elles une petite vanne métallique appelée *vantelle*,

qui permet d'établir le niveau de l'eau sur les deux faces de la porte avant de l'ouvrir. La queue de la vantelle s'élève jusqu'au haut de la porte, de manière à pouvoir lui communiquer le mouvement à l'aide d'un cric ou d'une vis.

Lorsque le canal est placé sur un sol dont la pente est à peu près uniforme, comme cela a lieu dans une vallée, en donnant aux écluses une forte chute, on serait conduit à des dépenses considérables pour creuser l'amont de chaque bief et remblayer l'aval. Quand le canal latéral est adossé à un coteau d'une pente douce, il faut, autant que possible, se placer de manière que les déblais de la *cunette* compensent les remblais des digues, et donner aux écluses la chute la plus convenable, de 2^m,50 à 3^m,00.

545. *Section transversale.* La largeur du fond d'un canal se fait à peu près égale au double de celle des bateaux qui le fréquentent; ainsi, selon que les écluses ont de 5^m,20 à 6^m,50 d'ouverture, la largeur du plafond se fait de 10 mètres à 12 mètres. Au pont-canal de Saint-Florentin sur l'Armance, formé de 5 arches de 5^m,80 de largeur chacune, la largeur est de 10^m,10, savoir: 2^m,45 pour chaque banquettes, et 5^m,20 pour le canal; cette dernière dimension est celle des écluses, et suffit au passage des bateaux.

La profondeur d'eau est de 1^m,50 pour plusieurs canaux, et elle est de 1^m,65 à 2^m,00 pour d'autres. Dans tous les cas, cette profondeur doit être en rapport avec le tirant d'eau des bateaux qui doivent fréquenter le canal.

Les talus intérieurs sont ordinairement à 1 et 1/2 de base pour 1 de hauteur; et, afin que le batillage de l'eau ne les dégrade pas, le plus souvent on établit sur chacun d'eux, au niveau de l'eau, une petite riberme de 0^m,25 à 0^m,30, sur laquelle on plante des glaïeuls.

Les chemins de halage ont de 3 à 6 mètres de largeur, selon la nature du sol sur lequel ils sont établis et l'importance des trains halés. Ils sont ordinairement placés à 0^m,50 au-dessus du niveau de l'eau, et quelquefois à 0^m,75 ou 1^m,00.

546. *Alimentation.* Ordinairement l'alimentation d'un canal latéral n'offre aucune difficulté; la prise d'eau se fait dans la rivière qu'il longe, et les ruisseaux tributaires de la rivière réparent de distance en distance les pertes dues aux infiltrations et à l'évaporation. On a cependant quelquefois éprouvé des difficultés; ainsi le canal du

Rhône au Rhin, quoique alimenté par une rigole navigable prenant 20 mètres cubes d'eau par seconde dans le Rhin, n'offre pas encore une navigation commode. Cela tient à ce que le canal est creusé sur un sol de gros gravier très-perméable. Cependant, comme on introduit une eau boueuse, les pertes de la rigole diminuent tous les jours.

CANAUX A POINT DE PARTAGE.

547. *Tracé.* Le tracé d'un canal à point de partage exige une étude approfondie, soit pour son alimentation, soit pour déterminer le point bas de la chaîne de montagnes qu'il doit traverser; c'est sur ce point bas qu'il y aura le plus de chances de pouvoir se procurer les eaux nécessaires à la navigation. C'est d'après les considérations posées au n° 489 que l'on déterminera le point bas.

Les sources d'eau se trouvant toujours à une certaine profondeur au-dessous de la surface du sol, ce n'est que par des tranchées ou même des souterrains que l'on pourra se procurer, au point de partage des deux branches du canal, la quantité d'eau nécessaire à la navigation. Malgré ces souterrains et ces tranchées, sauf le cas très-rare où le point bas se trouve au-dessous d'une assez grande étendue de terrain pour produire des ruisseaux ou des sources abondantes, on est obligé d'accumuler dans des réservoirs les eaux de pluie, afin de pouvoir en disposer pendant les sécheresses.

La dimension de ces réservoirs dépend de la quantité d'eau à fournir et de la plus ou moins grande rareté des pluies. La quantité d'eau qui afflue dans ces réservoirs dépend de l'étendue du terrain tributaire, des infiltrations, de la vaporisation, et de l'absorption par la végétation. Il est impossible de tenir compte de toutes ces circonstances; tout ce que l'on peut faire est d'admettre, comme quelques ingénieurs, que les cours d'eau écoulent les $\frac{3}{7}$ du produit annuel des pluies. En France, ce produit annuel est de 0^m,70; mais il convient d'observer qu'il tombe plus d'eau dans le Midi que dans le Nord, et dans les parties élevées d'un même pays que dans les plaines. D'après Gauthey, au canal du Midi, la superficie du terrain dont les eaux se déversent au point de partage est de 18 000 hectares; au canal de Bourgogne, 19 200 hectares; au canal de Briare, 29 700; et au canal du Centre, 30 800.

Le réservoir de Grosbois, canal de Bourgogne, a une capacité de 8 000 000 mètres cubes; sa profondeur est de 15 à 18 mètres. Celui de Saint-Ferréol, canal du Midi, contient 6 956 000 mètres cubes; la plus grande profondeur d'eau y est de 32^m,50. Ces réservoirs s'obtiennent en barrant, au moyen d'une digue, l'endroit le plus resserré d'un vallon.

548. *Quantité d'eau à fournir à un canal.* Cette quantité doit compenser 1° les pertes par évaporation, 2° par filtration, 3° par les portes des écluses, 4° celles dues aux passages des bateaux dans les écluses, 5° celles dues au remplissage du canal après la mise à sec par suite des réparations annuelles. Il est évident que c'est surtout pour les parties voisines du point de partage qu'il faut s'assurer que les eaux affluentes compensent les pertes, car à mesure que le canal descend, les ruisseaux tributaires deviennent plus nombreux et plus considérables.

549. *Évaporation.* La quantité d'eau évaporée dépend de la température et de toutes les circonstances atmosphériques; en général on a trouvé qu'elle était de 1^m,50 par année ou de 0^m,004 par jour.

550. *Filtration.* On admet que la quantité d'eau absorbée par filtration est double de celle évaporée. Au reste, cette quantité varie selon la nature du terrain, et, étant considérable à l'ouverture d'un canal, elle diminue chaque année. En rapportant les remblais, il faut avoir soin de labourer la terre sur laquelle on les pose, afin de rendre la liaison complète et diminuer les chances de filtration.

Sur un pont-canal, où il faut prendre les plus grandes précautions pour éviter les filtrations, après le décintrement des voûtes, on les recouvre d'une couche de béton de 0^m,25 à 0^m,30 d'épaisseur; mais jusqu'à présent on n'a obtenu un effet tout à fait efficace qu'en dallant le fond et les parois de la cunette avec des laves de Volvic, et en recouvrant ce dallage de deux couches d'enduit de bitume.

551. *La perte due aux portes d'écluses* dépend du soin apporté à la construction. Il paraît qu'en général on est au-dessus de la réalité en supposant que cette perte équivaut à la quantité d'eau que nécessiterait le passage de sept à huit bateaux.

552. *Perte due au passage d'un bateau.* Lorsqu'un bateau monte, son passage d'un bief dans le bief supérieur oblige de faire passer de

ce dernier dans le premier un volume d'eau égal à $P + B$, P étant le volume d'un prisme dont la base est la section horizontale du sas et dont la hauteur est la hauteur de chute, et B le volume d'eau déplacé par le bateau.

Quand au contraire le bateau descend, le volume de l'eau passant d'un bief dans le bief inférieur est $P - B$. Il résulte donc que chaque bateau qui monte une branche du canal pour redescendre l'autre, tire du bief de partage un volume d'eau égal à

$$(P+B) + (P-B) = 2P.$$

Lorsque la navigation est active, après avoir fait passer un bateau d'un bief dans le bief supérieur, on utilise l'eau qui remplit le sas pour faire redescendre un autre bateau. Par cette précaution, la quantité d'eau tirée du bief de partage pour deux bateaux allant dans un sens différent n'est que $2P$, ou P par bateau.

Si le bateau remontait vide pour prendre charge au point de partage, à son entrée dans le bief de partage il dépenserait un volume d'eau égal à $P + b$, b étant le volume d'eau déplacé par le bateau à vide; pour sortir du bief, le volume d'eau absorbé serait $P - B$; d'où il résulte que le passage du bateau dans le bief aurait absorbé un volume d'eau égal à $2P + (b - B)$, volume qui est d'autant plus petit que B est plus grand et que b est plus petit. Ce cas favorable à l'économie de l'eau ne peut que bien rarement se présenter en pratique.

Il est arrivé quelquefois que l'on a été obligé, par suite d'une pente considérable du terrain, de placer plusieurs sas l'un à la suite de l'autre. Pour monter ces sas, il faut autant de prismes P d'eau qu'il y a de sas, plus un volume B ; ainsi, à Fonsérane près de Béziers, où il y a sept sas, le passage d'un bateau montant absorbe un volume d'eau égal à $7P + B$, et celui d'un bateau descendant, un volume égal à $P - B$. Quand tous les sas sont vides, ce qui a lieu ordinairement, il faut encore ajouter à ces dépenses le volume d'eau nécessaire pour faire flotter le bateau dans le premier sas supérieur. Cette disposition des sas accolés est celle qui absorbe le plus d'eau et exige le plus de temps.

553. La cinquième dépense d'eau est facile à calculer, puis-

qu'elle est égale à la capacité du bief de partage et des biefs placés en amont des premières prises d'eau sur les deux versants.

554. *Construction des sas.* La longueur et la largeur d'un sas doivent être proportionnées aux dimensions des bateaux qui doivent y circuler. Quant à leur profondeur, elle comprend la hauteur de son couronnement au-dessus du niveau des eaux dans le bief d'amont, la chute ou différence de niveau de l'eau dans les deux biefs, et le tirant d'eau du bateau dans le sas. Le couronnement se tient ordinairement à $0^m,50$ au-dessus du niveau de l'eau; la chute varie de $2^m,50$ à $3^m,00$ dans les canaux artificiels. Pour les écluses que l'on établit sur les rivières, dans les points où la profondeur est insuffisante à la navigation, la chute n'est que de $1^m,00$ à $1^m,50$ ou $2^m,00$.

Une précaution à prendre dans la construction d'un sas, est de faire en pierres de taille tout le couronnement et toutes les parties formant des angles verticaux vifs ou arrondis, parce que des petits matériaux ne résisteraient pas aux chocs des bateaux contre ces parties. Ces pierres de taille doivent se relier parfaitement avec les autres parties de la maçonnerie; aussi, pour cela, a-t-on soin que les joints verticaux de chacune d'elles ne correspondent pas aux joints des pierres voisines. Il faut éviter de placer le couronnement en saillie sur le parement des murs, parce que les bateaux pourraient venir se placer dessous et en ébranler les pierres. La distance d'un joint montant à un angle rentrant ne doit pas être de moins de $0^m,05$, et l'épaisseur horizontale d'une pierre formant un angle saillant doit au moins être égale à la saillie de la pierre.

Afin de pouvoir mettre les sas à sec quand on a à réparer la porte d'amont, on refouille, dans le parement de chacun des murs, en amont de l'écluse d'amont, une coulisse verticale servant à établir un barrage avec des pièces de bois allant d'une coulisse à l'autre. Lorsque les coulisses n'ont que les dimensions ordinaires, $0^m,15$ à $0^m,20$ de profondeur sur $0^m,20$ de largeur, on les refouille ordinairement dans la pierre; mais pour des dimensions plus grandes, il faudrait, de deux en deux assises, mettre un joint dans la coulisse.

Les buses et les chardonnets doivent surtout être faits en pierres du premier choix et de fortes dimensions. Les buses sont les saillies sur le fond du radier, que l'on établit pour y faire contre-buter le bas des portes; on les appareille en voûte, afin qu'ils résistent bien

à la poussée. Dans les écluses de petite navigation, la saillie du buse sur le radier peut être de 0^m,20 ; mais si l'ouverture de l'écluse est plus considérable, comme les portes très-larges tendent à baisser du nez, pour éviter leur frottement sur le radier, on est obligé de les tenir un peu au-dessus du radier, et par suite d'augmenter la saillie du buse ; ainsi, pour les écluses de 5^m,20, 7^m,00 et 8^m,00 d'ouverture, cette saillie est de 0^m,25, et pour les écluses de 8 mètres à 12 mètres et au-dessus, elle est de 0^m,30. Les pierres formant les buses doivent pénétrer de 0^m,35 à 0^m,40 dans le radier et s'étendre dans toute la largeur du buse, de manière que celui-ci ne soit formé que d'une hauteur de voussoir. Le buse forme mur de chute, et, afin que les eaux ne soient pas projetées contre les murs verticaux, on lui donne une forme cylindrique verticale, concave du côté d'aval.

Les *chardonnets* sont destinés à résister à la poussée de l'arête verticale de chacune des portes de l'écluse. Cette arête verticale s'arrondit ainsi que le refoulement du chardonnet contre lequel elle bute ; mais, afin d'éviter le frottement de ces parties l'une contre l'autre dans la manœuvre de l'écluse, on ne place pas les tourillons de la porte dans l'axe du côté arrondi ; mais de manière qu'il n'y ait contact de ce côté contre le chardonnet que quand la porte est appliquée contre le buse, et que sitôt que la porte commence à s'ouvrir, ce contact cesse. Afin que les portes, quand elles sont ouvertes, ne fassent pas saillie sur les parements des murs, on met ceux-ci en retrait de l'épaisseur des portes, sur une longueur égale à la largeur de ces portes ; c'est seulement en amont de ces retraites, appelées *enclaves*, que l'on fait les coulisses. Entre les enclaves et les coulisses, il faut laisser une épaisseur de pierre suffisante pour résister à la pression que produira un barrage établi dans les coulisses : cette distance ne doit guère être moindre que 0^m,60. La distance de la coulisse au mur en retour qui raccorde le sas avec le bief est encore de 0^m,60.

A l'exception des chaînes en pierres de taille placées aux points où se trouvent des angles, le parement du reste des murs est construit en petits matériaux, excepté cependant pour le mur de chute, où on fait usage de pierres de taille, afin que son parement résiste bien aux chocs des bateaux. Les pierres de taille formant le

couronnement de tous les murs doivent avoir des dimensions suffisantes pour résister à la poussée des terres à l'époque des gelées ; on leur donne ordinairement 0^m,40 d'épaisseur sur 0^m,75 de largeur.

Les parements des murs doivent être exécutés en matériaux durs et non attaquables par la gelée ; ils doivent se relier parfaitement avec la maçonnerie de remplissage placée derrière, on atteint bien ce but en disposant de distance en distance une boutisse de 0^m,70 à 0^m,80 ou même 1^m,00 de longueur de queue. D'après M. Mary, les parements doivent être en pierre non gélive sur une épaisseur d'au moins 0^m,60.

Le radier se raccorde avec les fonds des biefs d'amont et d'aval par des plates-bandes en pierres de taille faisant voûte du côté du radier de manière à le défendre ; les voussoirs formant ces plates-bandes ont de 0^m,80 à 1^m,00 de longueur, selon que le sas a de 5^m,20 à 6^m,50, et même au delà, de largeur.

Dans le sas, il convient de faire le radier légèrement concave, afin de le rendre plus propre à résister à la sous-pression de l'eau quand on vide le sas. Les parties de radier placées dans les chambres d'amont et d'aval, et celles extérieures à ces chambres sont planes.

Ordinairement, pour plus de solidité, on exécute en pierres de taille la partie de radier placée sous les murs de chute, ainsi que celles placées dans les chambres des portes.

555. *Portes d'écluses.* Elles sont à deux vantaux symétriques butant l'un contre l'autre, et s'appuyant contre les buses et les chardonnets. On les fait en bois avec quelques ferrures pour les consolider ; en fonte, bois et fer forgé, en fonte, bois et tôle ; en fonte et bois.

En France, on fait généralement les portes en bois ; ce sont les moins chères sous le point de vue des dépenses d'exécution.

Chaque vantail est formé de deux poteaux, l'un dit *poteau tourillon*, parce qu'il porte les pivots ; il s'applique contre le chardonnet ; l'autre appelé *poteau busqué*, parce qu'il vient s'appuyer ou busquer, par une face inclinée au plan du vantail, contre le poteau de même nom de l'autre vantail. Ces deux poteaux sont reliés entre eux par des entretoises horizontales supportant la pression de l'eau, et dont le nombre dépend de la hauteur de la porte ; c'est contre ces entretoises que l'on fixe les madriers jointifs formant le bordage de la porte.

On tient les poteaux à 0^m,05 ou 0^m,06 du radier, afin qu'ils ne l'atteignent pas dans leur mouvement, et on les élève à 0^m,20 ou 0^m,25 au-dessus de l'eau, quand la porte est manœuvrée par une crémaillère circulaire. Quand la porte est manœuvrée à l'aide d'un grand levier qui réunit le haut des poteaux et fait en partie équilibre au poids de la porte, les poteaux s'élèvent à une certaine hauteur au-dessus des bajoyers.

L'entretoise supérieure se place à 0^m,10 environ au-dessus du niveau des eaux navigables, et celle inférieure à 0^m,10 au-dessus du radier. Quant aux entretoises intermédiaires, on les place de manière que la pression que chacune d'elles supporte soit proportionnée à ses dimensions.

Pour évaluer la pression que supporte chaque entretoise, il convient de remarquer que la pression aux divers points de la hauteur d'une porte noyée seulement sur une face est proportionnelle à la hauteur d'eau au-dessus de ces divers points; d'où il résulte que la pression totale sur la porte peut être représentée par la surface du triangle ABC, figure 3^k, planche 111, ayant pour hauteur la profondeur de l'eau contre la porte, et pour base la même profondeur, qui est proportionnelle à la pression sur les points les plus bas de la porte: ainsi, H étant la profondeur d'eau, la pression totale sur chaque unité de largeur de porte est $H \times \frac{H}{2} = \frac{H^2}{2}$.

La pression moyenne qui s'exerce sur tous les points de la porte est $\frac{H}{2}$, et c'est à cette pression moyenne que doit pouvoir résister l'ensemble des entretoises. Il convient de remarquer qu'il ne suffit pas que l'ensemble des entretoises puisse résister à cette pression, mais qu'il faut aussi les espacer de manière que chacune d'elles supporte la même charge (cela suppose qu'elles ont les mêmes dimensions). On aura la position de chaque entretoise en divisant le triangle ABC en autant de parties équivalentes qu'il y a d'entretoises, par les droites *de*, *fg*, *hi* parallèles à la base, et en plaçant les entretoises à la hauteur du centre de gravité des trapèzes et du triangle formés par ces parallèles.

Appelant h_1 , h_2 , h_3 , les distances des parallèles *de*, *fg*, *hi* au-dessus du point A, et *n* le nombre d'entretoises ou de divisions

de AB, on a respectivement $h_1 = H^2 \frac{n-2}{n-1}$, $h_2 = H^2 \frac{n-3}{n-1}$, $h_3 = H^2 \frac{n-4}{n-1}$, etc.

C'est à la hauteur des centres de gravité des trapèzes formés par les lignes CB, *de*, *fg* qu'il faut placer les entretoises; et la surface de chacun de ces trapèzes représente la pression que supporte chacune des entretoises. En pratique, comme on est obligé de placer une entretoise au-dessus et au-dessous de la porte, on est obligé de s'écarter un peu des positions déterminées par la théorie pour les entretoises. La marche précédente est également celle à suivre pour fixer les positions des cercles des grandes cuves.

Si les entretoises étaient également espacées, on pourrait, sans erreur sensible, déterminer leurs dimensions, en supposant que la pression que supporte chacune d'elles est représentée par la demi-somme des surfaces des trapèzes inférieur et supérieur. (Cette demi-somme représente la pression sur chaque unité de longueur d'entretoise (168).

Quant à la pression produite par l'eau, les entretoises inférieure et supérieure travaillent moins que les entretoises intermédiaires; cependant, comme elles forment le cadre de la porte et qu'elles sont entaillées pour recevoir les abouts des madriers formant le bordage, leurs dimensions sont supérieures à celles des autres.

Si la porte était noyée sur les deux faces au-dessous du point B, la pression sur la face d'aval détruirait l'augmentation de pression sur la face d'amont, et l'excès de pression sur chacun des éléments de porte inférieurs au point B serait constant et égal à BC; d'où il résulterait que la pression totale de l'eau, pour rompre les entretoises, serait représentée par la surface du triangle ABC, plus la surface d'un rectangle ayant BC pour base, et pour hauteur la distance de l'arête inférieure de la porte au point B.

Autrefois on reliait les entretoises entre elles et aux poteaux par une pièce inclinée appelée *bracon*, s'étendant du haut du poteau busqué au bas du poteau tourillon. Ce bracon était formé de deux parties, l'une placée du côté d'amont et noyée dans le bordage; l'autre du côté d'aval, et formée de plusieurs morceaux séparés à leurs extrémités par les entretoises. Chaque morceau était relié à

la pièce d'amont par deux boulons, et assemblé à embrèvement dans les entretoises ou les poteaux. Les madriers formant le bordage de la porte étaient disposés en décharge parallèlement au bracon, et cloués sur les entretoises et dans les feuillures faites pour recevoir leurs extrémités dans les poteaux et les entretoises inférieure et supérieure. On remplace maintenant le bracon par un tirant en fer allant du haut du poteau tourillon au bas du poteau busqué. Un moufle à coins, que porte ce tirant, permet de le raccourcir, de relever le poteau busqué et d'éviter les affaissements de la partie antérieure de la porte. Ce tirant permet de placer verticalement les madriers formant le bordage.

Les *vantelles* ou petites vannes destinées à remplir ou vider les sas se placent, une sur chaque vantail, entre deux potelets destinés à former les joues de l'ouverture et s'étendant sur tout l'intervalle des deux entretoises inférieures. Ces potelets se fixent par des boulons aux coulisses placées sur le bordage pour recevoir la vantelle; quand on assemble ces potelets aux entretoises, on ne doit entailler que légèrement ces dernières et du côté d'amont, c'est-à-dire sur leur face en contact avec le bordage, afin de diminuer le moins possible leur résistance.

Les vantelles peuvent être en bois ou en tôle ou en fonte; celles en fonte, dressées sur leurs parties frottantes et glissant sur des coulisses en cuivre, sont faciles à manœuvrer et conservent bien l'eau.

La vantelle est placée sur la face d'amont de la porte, ainsi que sa queue, qui s'élève jusqu'au-dessus du niveau de l'eau, où on la manœuvre par un cric ou une vis.

Afin que la pierre du busc n'éclate pas sous la pression de l'entretoise inférieure, il convient d'armer l'arête d'amont du busc d'un bon madrier en bois de chêne fixé dans les bajoyers et scellé dans le radier avec des boulons.

Afin que le sable ne s'interpose pas entre la crapaudine et le pivot inférieur, ce qui augmenterait le frottement et accélérerait l'usure, on fixe la crapaudine au poteau, et le pivot sur le sol.

556. *Fondations.* Les parties essentielles d'une écluse, c'est-à-dire le radier, les buscs et les pieds des bajoyers, devant être construites avec le plus grand soin, on ne doit les exécuter qu'en mettant à sec l'emplacement qu'elles doivent occuper.

557. *Épaisseur du radier.* Un radier peut être considéré comme une solive encastrée à ses deux extrémités sous les bajoyers, et sollicitée uniformément sur toute sa longueur par la différence entre son propre poids qui la sollicite de haut en bas, et celui de la colonne d'eau qui tend à la soulever. Cela suppose le sas vide, et que les eaux des sources ou des biefs environnants transmettent sous toute la surface du radier une sous-pression due à la hauteur du niveau de l'eau dans ces sources ou biefs au-dessus de la face inférieure du radier. Alors, de cette différence de poids et de la formule du n° 168, dans laquelle on prendra pour R la valeur qui convient au mortier employé, on déterminera l'épaisseur h du radier.

Lorsqu'on établit un batardeau sur une couche de béton coulé, il faut que cette couche de béton soit, comme pour le radier, suffisante pour résister à la sous-pression de l'eau, et que de plus cette sous-pression ne soit pas suffisante pour soulever la couche de béton et les parois du batardeau. Ce soulèvement n'est pas à redouter pour les radiers, à cause du poids considérable des murs de bajoyers.

235



SUPPLÉMENT.

558. *Nomenclature des anciennes mesures.*

1° *Mesures de longueur.* L'unité principale de longueur était la *toise*, qui se subdivisait en 6 *pieds*, le pied en 12 *pouces*, le pouce en 12 *lignes* et la ligne en 12 *points*.

On avait encore la *perche des eaux et forêts*, de 22 pieds de longueur, et la *perche de Paris*, de 18 pieds.

Pour mesurer les étoffes, on se servait de l'*aune*, qui valait 3 pieds, 7 pouces, 10 lignes et 10 points, ou 1,4884 mètre.

Les *mesures itinéraires* étaient la *lieue* et le *mille*.

La *lieue terrestre*, de 25 au degré, vaut 2280,32888 toises. Le méridien terrestre vaut $360 \times 25 = 9000$ lieues, ou 20522960 toises.

La *lieue marine*, de 20 au degré, vaut 2850,4111... toises.

La *lieue de poste* vaut 2000 toises.

Le *mille* vaut 1000 toises.

2° *Mesures de surface.* Ce sont : la *toise carrée*, le *pied carré*, le *pouce carré*, la *ligne carrée* et le *point carré*, surfaces carrées qui ont respectivement une toise, un pied, un pouce, une ligne et un point de côté. La toise carrée vaut 36 pieds carrés; le pied carré, 144 pouces carrés; le pouce carré, 144 lignes, et la ligne 144 points.

L'*aune carrée* équivaut à un carré d'une aune de côté.

Les *mesures agraires* étaient :

1° La *perche des eaux et forêts*, carré de 22 pieds de côté, ce qui fait 484 pieds carrés, ou 13^{tol.}44 de surface;

2° L'*arpent des eaux et forêts*, qui vaut 100 perches, c'est-à-dire 48400 pieds carrés, ou 1344^{tol.c.}44;

3° La *perche de Paris*, carré de 18 pieds de côté, ce qui fait 324 pieds carrés, ou 9 toises carrées de surface;

4° L'*arpent de Paris*, qui vaut 100 perches, c'est-à-dire 32400 pieds carrés, ou 900 toises carrées.

3° *Mesures de volume.* Ce sont : la *toise cube*, le *pied cube*, le *pouce cube*, etc.; cubes qui ont respectivement une toise, un pied, un pouce, etc. de côté. La toise cube vaut 216 pieds cubes; le pied cube vaut 1728 pouces cubes; le pouce cube, 1728 lignes cubes.

Pour les matières sèches, on se servait du *muid*; le muid de Paris valait 12 *setiers*; un setier, 12 *boisseaux*; un boisseau, 16 *litrons*, ou 13,01 litres (un muid valait donc 144 boisseaux).

Le *muid d'avoine* valait 12 setiers de chacun 24 boisseaux, ce qui faisait 288 boisseaux.

Le *muid de sel*, 12 setiers de chacun 16 boisseaux, ou 192 boisseaux.

Le *muid de charbon*, 10 setiers de chacun 32 boisseaux, ou 320 boisseaux.

Le *muid de chaux*, 12 setiers de chacun 12 boisseaux, ou 144 boisseaux, comme pour le froment.

Le *muid de plâtre*, 6 setiers de chacun 12 boisseaux, ou 72 boisseaux, moitié de celui de grain ou de chaux.

La *voie de bois* vaut 2 mètres cubes; la voie de charbon de bois, 2 hectolitres mesurés comble; la voie de charbon de terre, 30 demi-hectolitres mesurés comble.

La *corde des eaux et forêts* vaut 3,8391 stères ou mètres cubes, et, par suite, le stère vaut 0,2605 corde.

Mesures de capacité pour les liquides. Le muid de Paris valait 2 *feuilletes*; la feuillette, 2 *quartauts*; le quartaut, 9 *setiers* ou *veltes*; le setier, 8 *pintes*; le muid valait 288 pintes, les liquides supposés sans lie.

La *pinte de Paris* valait 2 *chopines*; la chopine, 2 *demi-setiers*; le demi-setier, 2 *possons*; le posson, 2 *demi-possons*; le demi-posson, 2 *roquilles*.

4° *Division de la circonférence.* La circonférence se divisait en 360 parties égales appelées *degrés*; le degré, en 60 *minutes*; la minute, en 60 *secondes*; la seconde, en 60 *tierces*, etc.

5° *Mesures de poids.* Ce sont : le *quintal*, qui vaut 100 *livres*; la livre, qui vaut 2 *marcs*; le marc, 8 *onces*; l'once, 8 *gros*; le gros, 72 *grains*.

6° *Unités monétaires.* Ce sont : la *livre tournois*, qui vaut 20 *sous*; le sou, qui vaut 4 *liards*, et le liard, 3 *deniers*.

Les monnaies de cuivre ou de billon étaient les *liards*, les pièces de 2 liards, les pièces de 6 liards, les *sous* de 4 liards, et les *gros sous* de 8 liards.

Les monnaies d'argent étaient les pièces de 6 sous, de 12 sous, de 24 sous, le petit écu de 3 livres, et l'écu de 6 livres.

Les monnaies d'or étaient le *louis* de 24 livres et le *double-louis*.

Les pièces d'argent contenaient 11/12 de leur poids en argent pur et 1/12 de cuivre. Les pièces d'or contenaient 11/12 de leur poids en or pur, 1/24 en argent et 1/24 en cuivre.

7° *Mesures temporaires.* Les mesures temporaires étaient et sont encore le *siècle*, qui vaut 100 ans; l'année, qui vaut 12 *mois* ou 365 *jours*; à très-peu près tous les 4 ans, il y a une année qui est bissextile, c'est-à-dire qui contient 366 jours au lieu de 365; c'est afin de rétablir l'harmonie entre l'*année civile* et l'*année solaire*, durée d'une révolution entière de la terre autour du soleil; cette durée est de 365 jours, 5 heures, 48 minutes, 45 secondes.

Le jour vaut 24 *heures*; l'heure, 60 *minutes*, et la minute, 60 *secondes*.

Les noms et durées des mois sont : *janvier*, 31 jours; *février*, 28 jours, et 29 pour les années bissextiles; *mars*, 31; *avril*, 30; *mai*, 31; *juin*, 30; *juillet*, 31; *août*, 31; *septembre*, 30; *octobre*, 31; *novembre*, 30; *décembre*, 31.

559. *Nomenclature des nouvelles mesures.*

1° *Mesures de longueur.* L'unité principale est le *mètre*, qui est égal à la dix-

millionième partie du quart du méridien terrestre, c'est-à-dire à 0^t,513074. Le mètre vaut 10 *décimètres*; le décimètre, 10 *centimètres*; le centimètre, 10 *millimètres*, etc.

Pour évaluer les grandes longueurs, on se sert du *décamètre*, qui vaut 10 mètres; de l'*hectomètre*, qui vaut 100 mètres; du *kilomètre*, de 10 hectomètres ou 1000 mètres, et du *myriamètre*, de 10 kilomètres ou 10,000 mètres.

2° *Mesures de surface*. Ce sont : le *mètre carré*, le *décimètre carré*, le *centimètre carré*, le *millimètre carré*. Le mètre carré vaut 100 décimètres carrés; le décimètre carré, 100 centimètres carrés, et le centimètre carré, 100 millimètres carrés.

Les *mesures agraires* sont : l'*hectare* ou arpent métrique, l'*are* et le *centiare*. L'hectare vaut 100 ares; l'are, 100 centiares, et le centiare, 1 mètre carré.

3° *Mesures de volume*. Ce sont : le *mètre cube*, le *décimètre cube*, le *centimètre cube*, etc. Le mètre cube vaut 1000 décimètres cubes; le décimètre cube, 1000 centimètres cubes; le centimètre cube, 1000 millimètres cubes, etc.

Pour mesurer les liquides, on emploie : le *décalitre*, le *litre* et le *décilitre*. Le décalitre vaut 10 litres; le litre vaut 1 décimètre cube, et le décilitre est le 1/10 du litre.

Pour les matières sèches, on fait usage du *kilolitre*, de l'*hectolitre*, du *décalitre* et du *litre*. Le décalitre vaut 10 litres; l'hectolitre, 10 décalitres ou 100 litres, et le kilolitre, 10 hectolitres ou 1000 litres.

Les bois s'évaluent au *stère* et au *décistère*. Le stère vaut un mètre cube; le décistère est le 1/10 du stère.

Dans les chantiers de Paris, le bois se mesure à la voie, qui vaut 2 stères.

4° *Division de la circonférence*. La circonférence se divise en 400 parties égales appelées *degrés*; le degré vaut 100 *minutes*; la minute, 100 *secondes*; la seconde, 100 *tierces*, etc.

5° *Mesures de poids*. L'unité fondamentale est le *kilogramme*, qui est le poids d'un décimètre cube d'eau prise à la température de 4°, c'est la température de son maximum de densité; 100 kilogrammes forment le *quintal métrique*; 10 quintaux ou 1000 kilogrammes valent 1 *millier*, c'est le poids du *tonneau de mer*; le kilogramme vaut 10 *hectogrammes*; l'hectogramme, 10 *déca-grammes*; le décagramme, 10 *grammes*; le gramme, 10 *décigrammes*; le décigramme, 10 *centigrammes*, etc.

6° *Unités monétaires*. Les unités monétaires sont : le *franc*; la pièce d'argent de 1 franc pèse 5 grammes; le franc vaut 10 *décimes*, et le décime, 10 *centimes*.

Les nouvelles monnaies d'argent sont les pièces de 5 francs (40 pèsent 1 kilogramme), de 2 francs, de 1 franc, d'un demi-franc et d'un quart de franc.

Les nouvelles monnaies d'or sont les pièces de 20 francs et de 40 francs; les premières pèsent 6^g,45161, et les secondes 12^g,90322.

Les nouvelles monnaies d'argent et d'or contiennent 9/10 d'argent ou d'or pur et 1/10 d'alliage.

Les nouvelles monnaies de cuivre sont : le *sou* de 5 centimes, et le *gros sou* de 10 centimes ou d'un décliné.

560. TABLES DE RÉDUCTION DES ANCIENNES MESURES EN NOUVELLES, ET RÉCIPROQUEMENT.

1° *Toises, pieds et pouces en mètres, et lignes en millimètres.*

NOMBRES d'unités.	TOISES en mètres.	PIEDS en mètres.	POUCES en mètres.	LIGNES en millimètres.
	m.	m.	m.	mill.
1	1.94904	0.32484	0.02707	2.256
2	3.89807	0.64968	0.05414	4.512
3	5.84710	0.97452	0.08121	6.767
4	7.79615	1.29936	0.10828	9.023
5	9.74518	1.62420	0.13535	11.279
6	11.69422	1.94904	0.16242	13.535
7	13.64326	2.27388	0.18949	15.791
8	15.59229	2.59872	0.21656	18.047
9	17.54133	2.92355	0.24363	20.302
10	19.49037	3.24839	0.27070	22.558
11	21.43940	3.57323	0.29777	24.814
12	23.38844	3.89807	0.32484	27.070
13	25.33748	4.22291	0.35191	29.326
14	27.28651	4.54775	0.37898	31.582
15	29.23555	4.87259	0.40605	33.837
16	31.18459	5.19743	0.43312	36.093
17	33.13362	5.52227	0.46019	38.349
18	35.08266	5.84711	0.48726	40.605
19	37.03169	6.17194	0.51433	42.861
20	38.98073	6.49679	0.54140	45.117
21	40.92977	6.82163	0.56847	47.372
22	42.87879	7.14647	0.59554	49.628
23	44.82783	7.47131	0.62261	51.884
24	46.77687	7.79615	0.64968	54.140
25	48.72591	8.12099	0.67675	56.396
26	50.67495	8.44583	0.70382	58.652
27	52.62399	8.77066	0.73089	60.907
28	54.57302	9.09550	0.75796	63.163
29	56.52206	9.42034	0.78503	65.419
30	58.47110	9.74518	0.81210	67.675
31	60.42013	10.07002	0.83917	69.931
32	62.36917	10.39486	0.86624	72.187
33	64.31821	10.71970	0.89331	74.442
34	66.26724	11.04454	0.92038	76.698
35	68.21628	11.36938	0.94745	78.954
36	70.16532	11.69422	0.97452	81.210
37	72.11435	12.01905	1.00159	83.466
38	74.06339	12.34388	1.02866	85.722
39	76.01243	12.66873	1.05573	87.977
40	77.96146	12.99358	1.08280	90.233
41	79.91050	13.31842	1.10987	92.489
42	81.85954	13.64326	1.13694	94.745
43	83.80857	13.96810	1.16401	97.001
44	85.75758	14.29293	1.19108	99.257
45	87.70662	14.61777	1.21815	101.512
46	89.65567	14.94261	1.24522	103.768
47	91.60471	15.26745	1.27229	106.024
48	93.55375	15.59229	1.29936	108.280
49	95.50279	15.91713	1.32643	110.536
50	97.45183	16.24197	1.35350	112.792
100	194.90366	32.48394	2.70700	225.583
1000	1949.03659	324.83943	27.06995	2255.829
10000	19490.36591	3248.39432		

2° Toises carrées et pieds carrés
en mètres carrés.Toises cubes et pieds cubes
en mètres cubes.

NOMBRES d'unités.	TOISES CARRÉES en mètres carrés.	PIEDS CARRÉS en mètres carrés.	NOMBRES d'unités.	TOISES CUBES en mètres cubes.	PIEDS CUBES en mètres cubes.
	m. carrés.	m. carrés.		m. cubes.	m. cubes.
1	3.7987	0.1055	1	7.4039	0.03428
2	2.5975	0.2110	2	14.8078	0.06855
3	11.3962	0.3166	3	22.2117	0.10283
4	15.1950	0.4221	4	29.6156	0.13711
5	18.9937	0.5276	5	37.0195	0.17139
6	22.7925	0.6331	6	44.4233	0.20566
7	26.5912	0.7386	7	51.8272	0.23994
8	30.3899	0.8442	8	59.2311	0.27422
9	34.1887	0.9497	9	66.6350	0.30850
10	37.9874	1.0552	10	74.0389	0.34277
11	41.7862	1.1607	11	81.4428	0.37705
12	45.5849	1.2663	12	88.8467	0.41133
13	49.3837	1.3718	13	96.2506	0.44560
14	53.1824	1.4773	14	103.6545	0.47988
15	56.9812	1.5828	15	111.0584	0.51416
16	60.7799	1.6883	16	118.4622	0.54844
17	64.5786	1.7938	17	125.8661	0.58271
18	68.3774	1.8994	18	133.2700	0.61699
19	72.1761	2.0049	19	140.6739	0.65127
20	75.9749	2.1104	20	148.0778	0.68555
21	79.7736	2.2159	21	155.4817	0.71983
22	83.5724	2.3214	22	162.8856	0.75410
23	87.3711	2.4270	23	170.2895	0.78838
24	91.1698	2.5325	24	177.6933	0.82266
25	94.9686	2.6380	25	185.0973	0.85694
26	98.7673	2.7435	26	192.5012	0.89121
27	102.5661	2.8490	27	199.9050	0.92549
28	106.3648	2.9546	28	207.3089	0.95977
29	110.1636	3.0601	29	214.7128	0.99404
30	113.9623	3.1656	30	222.1167	1.02832
31	117.7610	3.2712	31	229.5206	1.06260
32	121.5598	3.3767	32	236.9245	1.09688
33	125.3585	3.4822	33	244.3284	1.13115
34	129.1573	3.5877	34	251.7323	1.16543
35	132.9560	3.6932	35	259.1362	1.19971
36	136.7548	3.7987	36	266.5401	1.23398
37	140.5535	3.9042	37	273.9439	1.26826
38	144.3523	4.0098	38	281.3478	1.30254
39	148.1510	4.1153	39	288.7517	1.33681
40	151.9497	4.2208	40	296.1556	1.37109
41	155.7485	4.3263	41	303.5595	1.40537
42	159.5472	4.4319	42	310.9634	1.43965
43	163.3460	4.5374	43	318.3673	1.47393
44	167.1447	4.6429	44	325.7712	1.50820
45	170.9435	4.7484	45	333.1751	1.54248
46	174.7422	4.8539	46	340.5790	1.57675
47	178.5409	4.9595	47	347.9830	1.61103
48	182.3397	5.0650	48	355.3871	1.64531
49	186.1384	5.1705	49	362.7909	1.67959
50	189.9372	5.2760	50	370.1945	1.71387
100	379.8744	10.5522	100	740.3890	3.42773
1000	3798.7436		1000	7403.8903	

3° Mètres en toises, pieds, pouces et lignes.

NOMBRES de mètres.	MÈTRES en toises.	MÈTRES en toises, pieds, pouces, lignes.				MÈTRES en pieds, pouces, lignes.		
		Toises.	toises. pi.	pouc.	lignes.	pieds. pouc.	lignes.	
1	0.513074	0	3	0	11.296	3	0	11.296
2	1.026148	1	0	1	10.592	6	1	10.593
3	1.539222	1	3	2	9.888	9	2	9.888
4	2.052296	2	0	3	9.184	12	3	9.184
5	2.565370	2	3	4	8.480	15	4	8.480
6	3.078444	3	0	5	7.776	18	5	7.776
7	3.591518	3	3	6	7.072	21	6	7.072
8	4.104592	4	0	7	6.368	24	7	6.368
9	4.617666	4	3	8	5.664	27	8	5.664
10	5.13074	5	0	9	4.960	30	9	4.960

4° Décimètres en pieds, pouces et lignes; centimètres en pouces et lignes,
et millimètres en lignes.

NOMBRES d'unités.	DÉCIMÈTRES en pieds, pouces, lignes.			CENTIMÈTRES en pouces et lignes.		MILLIMÈTRES en lignes.
	Pieds.	Pouces.	Lign.	Pouces.	Lignes.	Lignes.
1	0	3	8.330	0	4.433	0.443
2	0	7	4.659	0	8.866	0.887
3	0	11	0.989	1	1.299	1.330
4	1	2	9.318	1	5.732	1.773
5	1	6	5.648	1	10.165	2.216
6	1	10	1.977	2	2.598	2.660
7	2	1	10.307	2	7.031	3.103
8	2	5	6.637	2	11.464	3.546
9	2	9	2.966	3	3.897	3.990
10	3	0	11.296	3	8.330	2.433

5° Mètres carrés et cubes en toises
carrées et cubes.Mètres carrés et cubes en pieds
carrés et cubes.

NOMBRES d'unités.	MÈTRES CARRÉS en toises carrées.	MÈTRES CUBES en toises cubes.	NOMBRES d'unités.	MÈTRES CARRÉS en pieds carrés.	MÈTRES CUBES en pieds cubes.
	Toises carrées.	Toises cubes.		Pieds carrés	Pieds cubes.
1	0.2632	0.1351	1	9.48	29.17
2	0.5265	0.2701	2	18.95	58.35
3	0.7897	0.4052	3	28.43	87.52
4	1.0530	0.5403	4	37.91	116.70
5	1.3162	0.6753	5	47.38	145.87
6	1.5795	0.8104	6	56.86	175.04
7	1.8427	0.9454	7	66.34	204.22
8	2.1060	1.0805	8	75.81	233.39
9	2.3692	1.2156	9	85.29	262.56
10	2.6324	1.3506	10	94.77	291.74

6° Dans la construction des tables qui précèdent, on a adopté les valeurs suivantes :

Toise	1,949 036 5912 mètre.
Toise carrée	3,798 743 6338 mètres carrés.
Toise cube	7,403 890 3430 mètres cubes.
Mètre	0,513 074 de toise.
Mètre carré	0,263 244 929 476 de toise carrée.-
Mètre cube	0,135 064 128 946 de toise cube.

7° Mesures itinéraires.

La lieue de 25 au degré	vaut	4,444 kilomètres.
La lieue marine, de 20 au degré	—	5,556 —
La lieue de poste, de 2000 toises	—	3,898 —
Le mille, de 1000 toises	—	1,949 —
1 kilomètre vaut	0,22499 lieue de 25 au degré.	
—	0,17778 —	20 —
—	0,26651 —	2000 toises,
—	0,53302 mille.	

8° Mesures agraires.

	PIEDS CARRÉS.	TOISES CARRÉES.	MÈTRES CARRÉS.
Perche des eaux et forêts	484	13.44	51.07
Arpent des eaux et forêts	48400	1344.44	5107.20
Perche de Paris	324	9	34.19
Arpent de Paris	32400	900	3418.87
Are	947.7	26.32	100
Hectare	94768.2	2632.45	10000

9° Arpents en hectares.

Hectares en arpents.

NOMBRES d'arpents.	ARPENTS de 100 perches de 22 pieds de côté.	ARPENTS de 100 perches de 18 pieds de côté.	NOMBRES d'hectares	ARPENTS de 100 perches de 22 pieds.	ARPENTS de 100 perches de 18 pieds.
1	hectares. 0.5107	hectares. 0.3419	1	arpents. 1.9580	arpents. 2.9249
2	1.0214	0.6838	2	3.9160	5.8499
3	1.5322	1.0257	3	5.8741	8.7748
4	2.0429	1.3675	4	7.8321	11.6998
5	2.5536	1.7094	5	9.7901	14.6247
6	3.0643	2.0513	6	11.7481	17.5497
7	3.5750	2.3932	7	13.7061	20.4746
8	4.0858	2.7351	8	15.6642	23.3995
9	4.5965	3.0770	9	17.6222	26.3245
10	5.1072	3.4189	10	19.5802	29.2494
100	51.0720	34.1887	100	195.8020	292.4944
1000	510.7198	341.8869	1000	1958.0201	2924.9437

10° Réduction des setiers de 12 boisseaux Réduction des hectolitres en setiers.
de 131,01 en hectolitres.

SETIERS.	HECTOLITRES.	HECTOLITRES.	SETIERS.
1	1.56	1	0.641
2	3.12	2	1.282
3	4.68	3	1.923
4	6.24	4	2.564
5	7.80	5	3.205
6	9.36	6	3.846
7	10.92	7	4.487
8	12.48	8	5.128
9	14.04	9	5.769
10	15.60	10	6.410
50	78.00	50	32.051
100	156.00	100	64.102

11° Réduction des muids de grain, de sel, d'avoine et de charbon en hectolitres.

NOMBRES de muids.	GRAIN.	SEL.	AVOINE.	CHARBON.
	Muid de 144 boisseaux.	Muid de 192 boisseaux.	Muid de 288 boisseaux.	Muid de 320 boisseaux.
	hect.	hect.	hect.	hect.
1	18.73	24.98	37.46	41.60
2	37.46	49.95	74.93	83.30
3	56.20	74.93	112.39	124.90
4	74.93	99.90	149.86	166.50
5	93.66	124.88	187.32	208.10
6	112.39	149.86	224.78	249.80
7	131.12	174.83	262.25	291.40
8	149.86	199.81	299.71	333.00
9	168.59	224.78	337.18	374.60
10	187.30	249.80	374.60	416.00

12° Réduction des pintes en litres.

Réduction des veltes en litres.

Réduction des litres en pintes.

PINTES.	LITRES.	VELTES.	LITRES.	LITRES.	PINTES.
1	0.952	1	7.62	1	1.05042
2	1.904	2	15.23	2	2.10
3	2.856	3	22.85	3	3.15
4	3.808	4	30.46	4	4.20
5	4.760	5	38.08	5	5.25
6	5.712	6	45.70	6	6.30
7	6.664	7	53.31	7	7.35
		8	60.93	8	8.40
		9	68.54	9	9.45
		10	76.16	10	10.50

13° Conversion des anciens poids en nouveaux.

GRAINS.	GRAMMES.	ONCES.	GRAMMES.	LIVRES.	KILOGRAMMES.
10	0.53	1	30.59	1	0.4895
20	1.06	2	61.19	2	0.9790
30	1.59	3	91.78	3	1.4685
40	2.12	4	122.38	4	1.9580
50	2.66	5	152.97	5	2.4475
60	3.19	6	183.56	6	2.9370
70	3.72	7	214.16	7	3.4265
GROS.		8	244.75	8	3.9160
1	3.82	9	275.35	9	4.4056
2	7.65	10	305.94	10	4.8951
3	11.47	11	336.53	50	24.4753
4	15.30	12	367.14	100	48.9506
5	19.12	13	397.73	500	244.7529
6	22.94	14	428.33	1000	489.5058
7	26.77	15	458.91		

14° Conversion des nouveaux poids en anciens.

GRAMMES.	ONCES.	GROS.	GRAINS.	GRAMMES.	LIVRES.	ONCES.	GROS.	GRAINS.
0.05	0	0	0.94136	300	0	9	6	32
0.10	0	0	1.88	400	0	13	0	43
0.15	0	0	2.82	500	1	0	2	53
0.20	0	0	3.77	600	1	3	4	64
0.25	0	0	4.71	700	1	6	7	3
0.50	0	0	9.41	800	1	10	1	13
0.75	0	0	14.12	900	1	13	3	24
1	0	0	18.83	kil. 1	2	0	5	35.15
2	0	0	37.65	2	4	1	2	70
3	0	0	56.48	3	6	2	0	33
4	0	1	3 30	4	8	2	5	69
5	0	1	22.14	5	10	3	3	32
6	0	1	41	6	12	4	0	67
7	0	1	60	7	14	4	6	30
8	0	2	7	8	16	5	3	65
9	0	2	25	9	18	6	1	28
10	0	2	44	10	20	6	6	64
20	0	5	17	20	40	13	5	55
30	0	7	61	30	61	4	4	47
40	1	2	33	40	81	11	3	38
50	1	5	5	50	102	2	2	30
60	1	7	50	60	122	9	1	21
70	2	2	22	70	143	0	0	13
80	2	4	66	80	163	6	7	4
90	2	7	38	90	183	13	5	68
100	3	2	11	100	204	4	4	59
200	6	4	21					

Le kilogramme, ou le poids d'un décimètre cube d'eau distillée, considéré au maximum de densité et dans le vide, vaut. 18827,15 grains.
 La livre vaut. 9216 grains.
 Donc, livre. 0,489505847 kilogr.
 Et kilogramme. 2,042876519 livres.

14° Conversion des nouveaux poids en anciens.

KILOGRAM.	LIVRES.	GRAMMES.	GRAINS.	DÉCIGRAM.	GRAINS.
1	2.0429	1	18.827	1	1.9
2	4.0858	2	37.6	2	3.8
3	6.1286	3	56.5	3	5.6
4	8.1715	4	75.3	4	7.5
5	10.2144	5	94.1	5	9.4
6	12.2573	6	113.0	6	11.3
7	14.3001	7	131.8	7	13.2
8	16.3430	8	150.6	8	15.1
9	18.3859	9	169.4	9	16.9
10	20.4288	10	188.27	10	18.8

561. TABLE DE COMPARAISON DES MESURES ANGLAISES AUX MESURES FRANÇAISES.

Mesures de longueur.

Anglaises.	Françaises.
Pouce (1/36 du yard).	2.539954 centimètres.
Pied (1/3 du yard).	3.0479449 décimètres.
Yard impérial.	0.91438348 mètre.
Fathom (2 yards).	1.82876696 mètre.
Pole ou perch (5 1/3 yards).	5.02911 mètres.
Furlong (220 yards).	201.16437 mètres.
Mille (1760 yards).	1609.3149 mètres.
Françaises.	Anglaises.
Millimètre.	0.03937 pouce.
Centimètre.	0.393708 pouce.
Décimètre.	3.937079 pouces.
	39.37079 pouces.
Mètre.	3.2808992 pieds.
	1.093633 yards.
Myriamètre.	6.2138 milles.

Mesures de superficie.

Anglaises.	Françaises.
Yard carré.	0.836097 mètre carré.
Rod (perche carrée).	25.291939 mètres carrés.
Rood (1210 yards carrés).	10.116775 ares.
Acre (4840 yards carrés).	0.404671 hectare.
Françaises.	Anglaises.
Mètre carré.	1.196033 yard carré.
Are.	0.098845 rood.
Hectare.	2.471143 acres.

Mesures de capacité.

Anglaises.	Françaises.
Pint (1/8 de gallon)	0.567932 litre.
Quart (1/4 de gallon)	1.135864 litre.
Gallon impérial	4.54345797 litres.
Peck (2 gallons)	9.0869159 litres.
Bushel (8 gallons)	36.347664 litres.
Sack (3 bushels)	1.09043 hectolitre.
Quarter (8 bushels)	2.907813 hectolitres.
Chaldron (12 sacks)	13.08516 hectolitres.
Françaises.	Anglaises.
Litre	1.760773 pint.
Décalitre	0.2200967 gallon.
Hectolitre	2.2009668 gallons.

Poids.

Anglais (Troy).	Français.
Grain (1/24 de pennyweight)	0.065 gramme.
Pennyweight (1/20 d'once)	1.555 gramme.
Once (1/12 de livre troy)	31.091 grammes.
Livre troy impériale	0.373096 kilogramme.
Anglais (avoirdupois).	Français.
Dram (1/16 d'once)	1.771 gramme.
Once (1/16 de la livre)	28.338 grammes.
Livre avoirdupois impériale	0.4534 kilogramme.
Quintal (112 livres)	50.78 kilogrammes.
Ton (20 quintaux)	1015.65 kilogrammes.
Français.	Anglais.
Gramme	15.438 grains troy.
	0.643 pennyweight.
	0.0322 once troy.
Kilogramme	2.6803 livres troy.
	2.2055 livres avoirdupois.

562. Conversion des mesures anglaises en mesures françaises.

NOMB. d'unités.	POUCES en centimètres.	PIEDS en mètres.	MILLES en kilomètres.	PIEDS carrés en mètres carr.	PIEDS CUBES en met. cubes.	LIVRES par pouce car- ré en kilogr. par centimét. carré.
1	2.5400	0.3047945	1.6093	0.09290	0.028314	0.0702774
2	5.0799	0.6095890	3.2186	0.18580	0.056628	0.1405548
3	7.6199	0.9143835	4.8279	0.27870	0.084942	0.2108322
4	10.1598	1.2197680	6.4373	0.37160	0.113256	0.2811096
5	12.6998	1.5239724	8.0466	0.46450	0.141570	0.3513870
6	15.2397	1.8287669	9.6559	0.55740	0.169884	0.4216644
7	17.7797	2.1335614	11.2652	0.65030	0.198198	0.4919418
8	20.3196	2.4383559	12.8745	0.74320	0.226512	0.5622192
9	22.8596	2.7431504	14.4838	0.83610	0.254826	0.6324966
10	25.4000	3.0479450	16.0930	0.92900	0.283140	0.7027740

NOMBRES d'unités.	LIVRES en kilogrammes.	TONNES ou tonneaux de 1000 kil.	LIV. STERL. en francs.	SHILLING en francs.	PENCES ou deniers en francs.
1	0.4534148	1.015649	25.2080	1.2604	10.5033
2	0.9068296	2.031298	50.4160	2.5208	21.0066
3	1.3602444	3.046947	75.6240	3.7812	31.5099
4	1.8136592	4.062596	100.8320	5.0416	42.0132
5	2.2670740	5.078245	126.0400	6.3020	52.5165
6	2.7204888	6.093894	151.2480	7.5624	63.0198
7	3.1739036	7.109543	176.4560	8.8228	73.5231
8	3.6273184	8.125192	201.6640	10.0832	84.0264
9	4.0807332	9.140841	226.8720	11.3436	94.5297
10	4.5341480	10.156490	252.0800	12.6040	105.0330

Le mille vaut 5280 pieds anglais, il en faut 2 1/2 pour faire une lieue.

La livre sterling vaut à peu près 25 francs.

Le shilling (1/20 de la livre sterling) vaut environ 1 fr. 25 cent.

Le penny ou denier, monnaie de cuivre (1/12 de shilling) diffère très-peu du décime.

Le shilling et le penny ont une valeur intrinsèque un peu moindre que leur valeur nominale portée au tableau.

563. Évaluations, en mesures françaises, des principales mesures linéaires étrangères, à l'usage du commerce.

	millimét.	
Amsterdam aune	690,3	
Anvers	{ aune de soie	694,3
	{ aune de laine	684,4
Berlin	{ aune (ancienne mesure)	667,7
	{ aune (nouvelle mesure)	666,9

		millimèt.
Berne.	<i>aune</i>	542,5
Bologne.	<i>brasse</i>	645,2
Brunswick.	<i>aune</i>	570,7
Brême.	<i>aune</i>	578,4
Cagliari.	<i>raso</i>	549,3
Carrare.	<i>canne pour les bois</i>	624,6
	<i>brasse marchande</i>	619,7
	<i>palme pour les marbres</i>	249,3
Cassel.	<i>aune</i>	569,4
Cologne.	<i>aune</i>	575,2
Constantinople.	<i>grande mesure</i>	669,1
	<i>petite mesure</i>	647,9
Copenhague.	<i>aune danoise</i>	627,7
Cracovie.	<i>aune</i>	617,0
Crémone.	<i>brasse</i> (d'après les tavole di Ragguaglio).	594,9
Dresde.	<i>aune</i>	566,5
Ferrare.	<i>brasse pour la soie</i> (tables italiennes).	634,4
	<i>brasse pour le coton et le linge</i> (tab. Ital.).	673,6
Florence.	<i>brasse</i>	594,2
Francfort-sur-Mein.	<i>aune</i>	547,3
Gènes.	<i>palme</i> (commission génoise).	248,3
Genève.	<i>aune</i>	1143,7
Hambourg.	<i>aune de Hambourg</i>	573,0
	<i>aune de Brabant</i>	691,4
Hanovre.	<i>aune</i>	584,0
Harlem.	<i>aune ordinaire</i>	683,5
	<i>aune pour le linge</i>	742,6
Leyde.	<i>aune</i>	683,1
Leipsick.	<i>aune</i>	565,3
Lisbonne.	<i>vare</i>	1092,9
Lubeck.	<i>aune</i>	577,0
Lucques.	<i>brasse</i>	595,1
Madrid.	<i>vare</i> (aune de Castille).	848,0
Mantoue.	<i>brasse</i>	643,8
Milan.	<i>brasse</i>	594,9
Modène.	<i>brasse</i>	648,1
Munich.	<i>aune</i>	833,0
Naples.	<i>canne</i> (8 palmes napolitaines).	2096,1
Neufchâtel.	<i>aune</i>	1111,1
Nuremberg.	<i>aune</i>	656,4
Ostende.	<i>aune</i>	699,3
Padoue.	<i>brasse pour le drap</i>	681,0
	<i>brasse pour la soie</i>	637,5
Palerme.	<i>canne</i> divisée en 8 palmes.	1942,3
Parme.	<i>brasse pour la laine, le coton et le linge</i>	643,8
	<i>brasse pour la soie</i>	594,4
Pavie.	<i>brasse</i>	594,9
Pétersbourg.	<i>archine</i>	711,5

		millimèt.
Raguse.	<i>aune</i>	513,2
Riga.	<i>aune</i>	548,2
Rome.	<i>canne des marchands</i> divis. en 8 palmes.	1992,0
	<i>brasse des marchands</i> divis. en 4 palmes.	848,2
	<i>brasse des tisserands</i> divisée en 3 palmes.	636,1
Rostock.	<i>aune</i>	575,2
Stockholm.	<i>aune de Suède</i>	593,7
Stuttgard.	<i>aune de Wurtemberg</i>	614,3
Turin.	<i>raso</i> divisé en 14 onces (vassali eandi).	599,4
Varsovie.	<i>aune</i>	584,6
Vérone.	<i>grande brasse</i>	649,0
	<i>petite brasse</i>	642,4
Weimar.	<i>aune</i>	564,0
Venise.	<i>brasse de laine</i>	683,4
	<i>brasse de soie</i>	638,7
Vicence.	<i>brasse de drap</i>	690,3
	<i>brasse de soie</i>	637,5
Vienne.	<i>aune de Vienne</i>	770,2
	<i>aune de la Haute-Autriche</i>	799,7
Zurich.	<i>aune</i>	600,1

564 Réduction des principales mesures linéaires étrangères en mesures métriques.

		millimèt.
Amsterdam.	<i>ped</i>	283,056
Anvers.	<i>ped</i>	285,588
Berlin.	<i>ped du Rhin</i> (rendu légal dans toute la Prusse).	313,854
Berne.	<i>ped</i>	293,258
Brunswick.	<i>ped</i>	285,362
Brême.	<i>ped</i>	289,197
Cagliari.	<i>palme, mesure</i> { <i>du pays</i>	248,367
		<i>de la ville</i>. . . . .	202,573
Calemberg.	<i>ped</i>	293,032
Carlsruhe.	<i>ped nouveau</i>	300,000
Cassel.	<i>ped de construction</i>	284,911
Chine.	<i>ped</i>	306,288
Cologne sur le Rhin (Prusse).		313,854
Constantinople.	<i>grand pick</i>	669,079
	<i>petit pick ou draa stambulin</i>	647,874
Copenhague.	<i>ped</i>	313,621
Cracovie.	<i>ped</i>	356,421
Darnstadt.	<i>ped de construction</i>	300,000
Dresde.	<i>ped</i>	283,260
Durlach.	<i>ped</i>	291,002
Égypte.	<i>coudée antique</i>	525,924

		millimèt.
Espagne.	{ <i>ped de Madrid</i> , d'après Lohman. . .	282,655
	{ <i>vare de Castille</i> , d'après Ciscar. . .	835,006
	{ <i>vare de la Havane</i> , 3 pieds de Madrid. .	847,065
Gotha.	<i>ped.</i>	287,618
Hambourg.	<i>ped.</i>	286,490
Hanovre.	<i>ped.</i>	291,995
Lisbonne.	{ <i>palme.</i>	218,590
	{ <i>ped de construction.</i>	338,600
Lubeck.	<i>ped.</i>	291,002
Middelbourg.	<i>ped.</i>	300,025
Munich.	<i>ped.</i>	291,859
Neufchâtel.	<i>ped.</i>	300,025
Nurenberg.	<i>ped.</i>	303,793
Oldembourg.	<i>ped.</i>	296,416
Pétersbourg.	{ <i>ped russe.</i>	538,151
	{ <i>archine.</i>	711,480
Rostock.	<i>ped.</i>	291,002
Stockholm.	<i>ped.</i>	296,838
Stuttgard.	<i>ped.</i>	286,490
Varsovie.	<i>ped.</i>	297,769
Weimar.	<i>ped.</i>	281,972
Vienne.	<i>ped.</i>	316,103
Wisbaden.	<i>ped.</i>	287,844
Zante et Céphalonie.	<i>ped.</i>	347,398
Zurich.	<i>ped.</i>	301,379

FIN.

On trouve chez les mêmes Libraires :

- BARLOW** (P.), de l'Académie militaire. Essai sur la **Résistance des bois de construction**, avec un appendice sur la résistance du fer et d'autres matériaux, résumé de l'ouvrage anglais; avec des notes, par *A. Fourier*, ingénieur en chef des ponts et chaussées. 1 vol. in-8. 1828. 3 fr. 50 c.
- BAZAINE et CHAPERON**, ingénieurs des ponts et chaussées et des chemins de fer. **Chemins de fer d'Alsace, leur description complète, tracé, terrassements, travaux d'art**; ouvrage formant un ensemble de **détails pratiques** pour la construction des chemins de fer en général. Fort volume in-4° de texte et de légende accompagné d'un bel atlas in-folio demi-jésus de 60 à 70 planches cotées dans toutes leurs parties. Prix de l'ouvrage complet pour les souscripteurs. 45 fr.
- On peut se procurer immédiatement les 60 planches parues et la légende explicative qui les accompagne. Le complément de l'ouvrage (texte et planches) paraîtra très-prochainement.
- COMBES**, ingénieur en chef des mines, professeur d'exploitation à l'École royale des mines. **Traité de l'exploitation des mines**, 3 forts volumes in-8, avec atlas d'environ 60 planches in-folio. (En publication.) En vente, les tomes 1^{er} et 2^e, forts vol. in-8, avec leurs atlas. 22 fr. Le tome 3^e sous presse paraîtra en mai 1845.
- CORBIOLIS**, membre de l'Institut, ingénieur en chef des ponts et chaussées. **Traité de la Mécanique des corps solides et Du calcul de l'effet des machines**, ou Considérations sur l'emploi des moteurs et sur leur évaluation, pour servir d'introduction à l'étude spéciale des machines. 2^e édition. 1 vol. in-4, avec planches. Paris, 1844. 15 fr.
- **Théorie mathématique des effets du jeu de billard**. 1 vol. in-8 avec planches. 7 fr. 50 c.
- D'AUBUISSON** et de **SAINT GUILHEM**, ingénieurs en chef. **Tables à l'usage des ingénieurs et des physiciens**, précédées des **Tables des logarithmes** pour les nombres, sinus et tangentes; par **JÉROME DE LALANDE**. 1 vol. in-18. Paris, 1842. 4 fr.
- GEMIEYS et COUSINERY**, ingénieurs en chef au corps royal des ponts et chaussées. **Recueil de tables**, pour faciliter et abrégé les divers calculs relatifs aux différents genres de constructions civiles, hydrauliques et industrielles, à l'usage de MM. les ingénieurs, architectes et constructeurs, 2 vol. in-8, grand papier. Le tome 1^{er} (seconde édition) est sous presse. Le tome 2^e volume inédit paraîtra en mai 1845.
- OLIVIER** (Th.), professeur de Géométrie descriptive au Conservatoire des arts et métiers, répétiteur à l'École polytechnique, professeur-fondateur de l'École centrale des arts et manufactures. **Développements de Géométrie descriptive**, ouvrage servant de complément à tous les traités de géométrie descriptive publiés jusqu'à ce jour, 2 vol. in-4, dont un de planches. Paris, 1843. 18 fr.
- **Cours de Géométrie descriptive**; 2 vol. in-4, accompagnés d'un atlas de 96 planches. Paris, 1844. 20 fr.
- Le tome 1^{er} : Du point de la droite et du plan, 1 vol. in-4, avec atlas de 42 planches. Le tome 2^e : Des courbes et des surfaces, 1 vol. in-4, avec atlas de 54 planches.
- SÉGUIN**, architecte. **Tables des nombres carrés et cubiques et des racines de ces nombres depuis un jusqu'à dix mille**, in-8. 3 fr.
- SURET** (J.-L.) **Le prompt Calculateur**. Contenant: 1^o les principes du calcul décimal; 2^o un exposé du système métrique; 3^o une collection complète de nouveaux tableaux et de nouvelles tables pour abrégé et faciliter toute espèce de calcul. Ouvrage nécessaire à toutes les personnes qui se livrent aux spéculations financières et industrielles; aux entrepreneurs et conducteurs de travaux, arpenteurs, toiseurs, géomètres, etc. *Édition stéréotypée*. 1 vol. in-8. Paris, 1837. 7 fr.

