

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

II

4499

L. inw.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000294694



Tous les exemplaires des **RIVIÈRES CANALISÉES** de
M. DE MAS devront être revêtus de la signature de l'auteur.

M. De Mas

ENCYCLOPÉDIE

DES

TRAVAUX PUBLICS

Fondée par **M.-C. LECHALAS**, Inspecteur général des Ponts et Chaussées

Médaille d'or à l'Exposition universelle de 1889

COURS DE NAVIGATION INTÉRIEURE

DE L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES

RIVIÈRES CANALISÉES

PAR

F. B. DE MAS

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES

GÉNÉRALITÉS. BARRAGES AUTRES QUE LES BARRAGES MOBILES.

BARRAGES MOBILES A FERMETTES. BARRAGES MOBILES A PONT SUPÉRIEUR.

BARRAGES MOBILES A HAUSSES. BARRAGES MOBILES A TAMBOUR.

RÈGLES A SUIVRE POUR L'ÉTABLISSEMENT D'UNE RETENUE D'EAU AU MOYEN
D'UN BARRAGE MOBILE. ÉCLUSES A SAS. PORTES D'ÉCLUSE.

EMPLACEMENT, ABORDS ET ACCESSOIRES DES ÉCLUSES. EXPLOITATION.

F. N. 25059

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

Successeur de BAUDRY & C^{ie}

15, RUE DES SAINTS-PÈRES

MAISON A LIÈGE : 21, RUE DE LA RÉGENCE

1903

TOUS DROITS RÉSERVÉS





II 4499

TABLE DES MATIÈRES

RIVIÈRES CANALISÉES

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS.

BARRAGES AUTRES QUE LES BARRAGES MOBILES

§ 1. — *De la canalisation en général.*

1. Considérations préliminaires	1
2. Etat actuel de la question. Navigation continue	2
3. Premiers essais. Navigation par éclusées	3
4. Exemple de la Seine et de l'Yonne	4
5. Division du sujet	6

§ 2. — *Des barrages en général.*

6. Assimilation des barrages à des déversoirs.....	7
7. Remous.....	7
8. Fixation du niveau d'une retenue.....	9
9. Emplacements des barrages	10
10. Espacement des barrages	10

§ 3. — *Barrages fixes.*

11. Limites d'application	12
12. Position en rivière,.....	13
13. Barrages en maçonnerie.....	15
14. Barrages en pierres sèches et charpente	17

§ 4. — *Barrages à vannes.*

15. Définitions	21
16. Type le plus simple de barrage à vannes.....	22

17. Vannes des Wattringues du Nord et du Pas-de-Calais.....	23
18. Barrage de Charlottenbourg sur la Sprée	25
19. Vannes Stoney... ..	27
20. Barrage de Chèvres.....	29
21. Systèmes divers.....	29

§ 5. — *Barrages à Poutrelles.*

22. Dispositions générales	31
23. Echappement successif des poutrelles.....	32
24. Echappement simultané	32
25. Inconvénients des barrages à poutrelles	34

§ 6. — *Barrages à aiguilles.*

26. Dispositions générales.....	35
27. Pertuis à aiguilles de la Haute-Yonne	35
28. Pont-pertuis de Belombre.....	38
29. Barrage à câble.....	39

CHAPITRE II

BARRAGES MOBILES A FERMETTES

§ 1. — *Description générale du barrage Poirée.*

30. Idée de principe.....	41
31. Manœuvres de relevage et d'abatage.....	43
32. Echappements	45

§ 2. — *Bouchure.*

33. Aiguilles primitives.....	47
34. Manœuvre des aiguilles.....	47
35. Augmentation des difficultés avec l'accroissement des retenues.....	48
36. Calcul des dimensions d'une aiguille.....	49
37. Insuffisance des dimensions des aiguilles employées pendant longtemps en France.....	51
38. Aiguilles des barrages de la Meuse belge. Echappement Kummer.. ..	52
39. Aiguilles à crochet de M. Guillemain.....	56
40. Possibilité d'augmenter encore les dimensions des aiguilles..	60
41. Etanchement des aiguilles.....	60
42. Rideaux articulés de M. Caméré.....	65

43. Vannes de M. Boulé	70
44. Vannettes à galets avec roulement sur billes	74
45. Résumé en ce qui concerne le mode de bouchure.....	77

§ 3. — *Fermettes et accessoires des fermettes.*

46. Efforts exercés sur les fermettes quand la retenue est tendue.	80
47. Cas des aiguilles.....	81
48. Cas des rideaux articulés ou des vannes.....	84
49. Premières déductions.....	86
50. Simplifications. Exemple d'application numérique.....	87
51. Autres efforts auxquels les fermettes sont soumises.....	89
52. Spécimens de fermettes	90
53. Résumé en ce qui concerne la construction des fermettes....	97
54. Tourillons et crapaudines.....	100
55. Barres de réunion, barres d'appui, voies de service.....	102
56. Passerelle de manœuvre.....	105
57. Chaînes d'attache des fermettes	107
58. Dispositions spéciales à la fermette de rive du côté du rabat- tement	109
59. Espacement des fermettes.....	111

§ 4. — *Parties fixes. — Appréciation du système.*

60. Radier, culées ou épaulements, piles.....	112
61. Seuil	116
62. Chambre des fermettes.....	119
63. Efforts exercés sur les crapaudines.....	120
64. Ancrages	121
65. Avantages et inconvénients des barrages mobiles à fermettes.	126

CHAPITRE III

BARRAGES MOBILES A PONT SUPÉRIEUR

66. Idée de principe	131
----------------------------	-----

§ 1. — *Barrage de Poses.*

67. Vue d'ensemble.....	133
68. Ponts supérieurs.....	134
69. Cadres.....	137
70. Passerelle de manœuvre des rideaux.....	138
71. Rideaux articulés.....	140
72. Manœuvres.....	141

§ 2. — *Autres applications. — Appréciation du système.*

73. Barrage du Rhône, à Genève.....	143
74. Barrages de l'Oise.....	145
75. Appréciation du système.....	154

CHAPITRE IV

BARRAGES MOBILES A HAUSSES

§ 1. — *Premiers essais.*

76. Différence essentielle entre ces ouvrages et les précédents...	157
77. Barrages Thénard sur l'Isle.....	158
78. Barrage de Courbeton.....	161

§ 2. — *Description générale du barrage Chanoine.*

79. Hausse, chevalet, arc-boutant.....	162
80. Manœuvres d'abatage et de relevage.....	164
81. Bateau de manœuvre.....	165
82. Essais de manœuvres automatiques.....	165
83. Etablissement d'une passerelle de manœuvre.....	168

§ 3. — *Hausse.*

84. Mode et détails de construction.....	170
85. Vannes-papillons.....	174
86. Dimensions et espacement des hausses.....	176
87. Treuil différentiel de M. Maurice Lévy.....	177
88. Mode d'emploi du bateau de manœuvre sur l'Yonne.....	178

§ 4. — *Chevalet et arc-boutant avec leurs accessoires.*

89. Efforts transmis par la hausse à ses appuis quand la retenue est tendue.....	183
90. Variations des efforts avec les inclinaisons respectives de l'arc-boutant, de la hausse et du chevalet.....	185
91. Cas où les articulations de la hausse et de l'arc-boutant avec le chevalet sont distinctes.....	186
92. Influence de la hauteur de l'axe de rotation de la hausse....	187
93. Chevalet, colliers, crapaudines, coins du chevalet.....	189
94. Arc-boutant.....	194
95. Heurtoir et glissière.....	197
96. Barre à talons.....	197
97. Plaque de recouvrement de M. Lambert.....	202

§ 5. — *Parties fixes. — Appréciation du système.*

98. Radier.....	204
99. Avantages et inconvénients des barrages Chanoine.....	205

§ 6. — *Modification du barrage Chanoine. Système Pasqueau.*

100. Glissière à deux crans.....	209
101. Barrage de la Mulatière sur la Saône.....	212
102. Barrage de l'île David sur l'Ohio.....	216

CHAPITRE V

BARRAGES MOBILES A TAMBOUR§ 1. — *Premiers essais de barrages manœuvrés en utilisant la puissance même de la chute.*

103. Portes à vantaux en forme de V.....	219
104. Portes à vantaux valets.....	220
105. Portes américaines.....	222
106. Vice commun à ces divers systèmes.....	222

§ 2. — *Système Louiche-Desfontaines.*

107. Application aux barrages de la Marne canalisée.....	223
108. Description.....	225
109. Fonctionnement.....	229
110. Béquilles et barre à coches.....	233
111. Conditions de stabilité de la vanne lorsque la retenue est tendue.....	236
112. Conditions dans lesquelles une vanne abattue peut se relever.....	239
113. Avantages et inconvénients du système.....	241
114. Extension du système en Allemagne.....	244

§ 3. — *Autres barrages manœuvrés en utilisant la puissance de la chute.*

115. Barrage Girard à presses hydrauliques.....	247
116. Systèmes divers.....	250

CHAPITRE VI

**RÈGLES A SUIVRE POUR L'ÉTABLISSEMENT D'UNE
RETENUE D'EAU AU MOYEN D'UN BARRAGE MOBILE**§ 1. — *Dispositions et dimensions de la partie fixe.*

417. Conditions principales à remplir.....	253
418. Passes profondes	253
419. Passes moyennes, passes hautes	257
420. Données statistiques et numériques.....	258

§ 2. — *Choix des organes mobiles.*

421. Aperçu des prix de revient de divers barrages.....	259
422. Avantages respectifs des différents systèmes	264
423. Conclusions	266

CHAPITRE VII

ÉCLUSES A SAS§ 1. — *Dispositions générales.*

424. Énumération et dénomination des différentes parties d'une écluse.....	271
425. Dimensions horizontales des écluses.....	273
426. Type légal en France.....	274
427. Dimensions correspondantes des bateaux.....	275
428. Profondeur des écluses	275
429. Hauteurs de chute.....	276

§ 2. — *Description détaillée d'une écluse du type légal.*

430. Musoirs et rainures et poutrelles d'amont.....	277
431. Enclaves et chambre de la porte d'amont.....	280
432. Mur de chute.....	280
433. Sas, enclaves et chambres de la porte d'aval, murs de fuite.	281
434. Musoirs et rainures à poutrelles d'aval.....	283
435. Section des bajoyers	284
436. Nature des maçonneries	287
437. Détails d'appareil	287
438. Radier	289
439. Arrière-radier.....	291

§ 3. — *Types divers d'écluses à sas.*

140. Diversité dans les dimensions	292
141. Diversité dans les formes	293
142. Diversité dans le mode de construction	295
143. Ecluses à têtes séparées	296
144. Ecluses accolées	299
145. Ecluses superposées	301
146. Ecluses à grande chute	305

§ 4. — *Dispositions spéciales en vue du remplissage
et de la vidange du sas.*

147. Aqueducs ménagés dans les têtes d'écluse	311
148. Vannes cylindriques	314
149. Aqueducs latéraux régnant sur toute la longueur du sas	319
150. Emploi de siphons pour le remplissage et la vidange des sas	322

CHAPITRE VIII

PORTES D'ÉCLUSE

§ 1. — *Considérations générales.*

151. Définitions	325
152. Classification	326
153. Nature et importance des efforts auxquels sont soumis les vantaux des portes d'écluse	327
154. Vantail considéré comme composé d'éléments horizontaux ..	328
155. Vantail considéré comme composé d'éléments verticaux	330
156. Expériences de M. Guillemain	331
157. Autres conditions auxquelles doivent satisfaire les vantaux ..	332
158. Division du chapitre	333

§ 2. — *Portes busquées. — Constitution des vantaux.*

159. Spécimens de portes en bois	333
160. Déformation d'un vantail dans son plan	346
161. Consolidation des assemblages à angle droit	346
162. Bracon	347
163. Echarpe	349
164. Gauchissement du vantail	351
165. Etanchéité des vantaux	352
166. Durée	353
167. Spécimens de portes métalliques	354

168. Rigidité, étanchéité.....	363
169. Durée.....	363
170. Spécimens de portes mixtes.....	365
171. Rigidité, étanchéité, durée.....	375

§ 3. — *Organes et appareils de manœuvre.*

172. Position de l'axe de rotation.....	375
173. Pivot et crapaudine.....	378
174. Tourillon et collier.....	379
175. Ajustage des vantaux.....	386
176. Engins de manœuvre des vantaux.....	388
177. Remplissage et vidange du sas.....	393
178. Divers types de ventelles.....	397
179. Surface libre offerte par les ventelles.....	401
180. Passerelle de service. Appareils de manœuvre des ventelles..	403

§ 4. — *Portes non busquées.*

181. Différentes espèces de portes non busquées.....	404
182. Spécimens de portes à un seul vantail tournant autour d'un axe vertical.....	405
183. Portes à un seul vantail tournant autour d'un axe horizontal.....	415
184. Porte à deux vantaux non busquées.....	421

§ 5. — *Comparaison entre les divers systèmes de portes d'écluse.*

185. Prix de revient.....	423
186. Comparaison entre les portes en bois, en métal ou mixtes..	430
187. Comparaison entre les portes busquées et non busquées.....	434

CHAPITRE IX

EMPLACEMENT,
ABORDS ET ACCESSOIRES DES ÉCLUSES

§ 1. — *Écluses en rivière*

188. Positions respectives du barrage et de l'écluse.....	437
189. Estacades.....	439
190. Terre-plein.....	440
191. Moyens d'amarrage.....	442
192. Echelles de sauvetage. Escaliers, Gares à batelets.....	442

193. Echelles hydrométriques. Télégraphe. Téléphone. Tableau pour l'affichage.....	443
194. Maison éclusière.....	443

§ 2. — *Ecluses en dérivation.*

195. Difficultés que peut présenter l'établissement d'une écluse en rivière.....	445
196. Différents genres de dérivations.....	445
197. Section transversale et tracé.....	446
198. Profil en long.....	448
199. Position de l'écluse dans la dérivation.....	449
200. Écluse de garde.....	451
201. Ponts sur écluses.....	453
202. Danger des sous-pressions.....	457
203. Avantages et inconvénients des dérivations.....	458

CHAPITRE X

EXPLOITATION

§ 1. — *Comparaison avec les rivières à courant libre.*

204. Entretien de la voie en général.....	461
205. Entretien des barrages.....	463
206. Entretien des écluses.....	466
207. Transformation des écluses.....	468
208. Matériel et traction.....	476
209. Manœuvre des ouvrages de navigation.....	478
210. Ports.....	480

§ 2. — *Résultats financiers.*

211. Dépenses de premier établissement.....	481
212. Frais d'entretien et de manœuvre des ouvrages de navigation.....	483
213. Prix de fret.....	485

ANNEXES

A.	Note sur la canalisation des rivières à fond mobile au moyen de barrages de soutènement du lit.....	489
B.	Expériences sur les déformations des vantaux des portes d'écluse.....	495

ERRATA

Page 41,	ligne 32,	<i>lire</i> :	aux	<i>au lieu de</i> :	anx.
— 45,	— 17,	—	tout entière	—	toute entière.
— 63,	— 18,	—	1,5 millimètre	—	15 millimètres.
— 491,	— 40,	—	tourillons	—	tourrillons.
— 201,	— 32,	—	le passage	—	la passage.
— 239,	— 18,	—	$F=0,278$	—	$F=0,277$.
— 283,	— 21,	—	chapitre IX, où	—	chapitre IX où.
— 354,	— 29,	—	(Pl. LX)	—	(Pl. LIX).
— 374,	— 12,	—	par de forts	—	par forts.
— 428,	dernière ligne du tableau,	<i>lire</i> :	à Paris (grand sas)	<i>au lieu de</i> :	à Paris grand sas.
Page 433,	ligne 4,	<i>lire</i> :	vantaux	<i>au lieu de</i> :	vantaux.
— 443,	— 16,	—	usagers	—	usages.
— 447,	— 7,	—	doublerait	—	doubleraï.
— 475,	— 21,	—	palplanches	—	moises.



CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS

BARRAGES AUTRES QUE LES BARRAGES MOBILES

§ 1. *De la canalisation en général.* — § 2. *Des barrages en général.* —
§ 3. *Barrages fixes.* — § 4. *Barrages à vannes.* — § 5. *Barrages à poutrelles.* — § 6. *Barrages à aiguilles.*

§ 1

DE LA CANALISATION EN GÉNÉRAL

1. Considérations préliminaires. — L'amélioration que l'on peut réaliser dans les conditions de navigabilité des cours d'eau naturels, au moyen des travaux de régularisation même les mieux combinés, ne dépasse pas certaines limites, souvent fort étroites, déterminées par les éléments constitutifs du régime de ces cours d'eau. On peut dire aussi, d'une façon générale, que les fleuves et rivières de notre pays, dans la plus grande partie de leur cours, ne se prêtent guère à ces travaux de régularisation.

Cependant, au fur et à mesure que les canaux, dont le réseau est très étendu en France, se multipliaient et s'amélioraient, les imperfections des cours d'eau naturels devenaient plus sensibles. Les canaux, dans l'origine, avaient eu pour but et pour effet de combler les lacunes entre ces cours d'eau ; on

arrivait à cette situation que les mêmes cours d'eau semblaient être à leur tour des lacunes entre les canaux. On eut recours alors à la *canalisation* des rivières, et ce système d'amélioration a pris en France un essor des plus remarquables.

2. Etat actuel de la question. Navigation continue. —

Telle qu'elle est aujourd'hui généralement réalisée sur les principales voies navigables naturelles de notre pays, la canalisation consiste en ceci. De distance en distance sont établis des *barrages mobiles*, susceptibles de s'effacer, et s'effaçant effectivement d'une façon complète, tant que le débit est suffisant pour assurer à la batellerie le mouillage nécessaire. Rien n'est changé dans le régime du cours d'eau ni dans la situation des propriétés riveraines, pendant les périodes critiques de grandes crues et de hautes eaux. Quand le débit tombe au-dessous d'une certaine limite, les barrages sont relevés, et le cours d'eau se trouve ainsi divisé en un certain nombre de *biefs*, dans chacun desquels l'eau est tendue à un niveau suffisant pour donner partout le mouillage nécessaire. Le relèvement de l'eau a, d'ailleurs, pour effet d'augmenter la largeur du chenal et d'amortir la vitesse du courant, double avantage pour la batellerie. La communication d'un bief à l'autre est alors assurée par une écluse à sas.

La navigation se faisant par les écluses aussitôt qu'elle ne peut plus être pratiquée à courant libre, est *continue* autant qu'elle peut l'être, sans autres interruptions que celles dues à des causes accidentelles : glaces, grandes crues, etc. Comme dans les canaux, les bateaux sont assurés de rencontrer toujours dans les rivières canalisées un certain minimum de mouillage ; pendant la plus grande partie de l'année ils y trouvent aussi, comme dans les canaux, des eaux calmes et tranquilles, condition qui a une très sérieuse importance au point de vue de la bonne utilisation du matériel et du personnel de la batellerie.

3. Premiers essais. Navigation par éclusées. — Assurément, ce n'est pas du premier coup que l'amélioration des rivières par voie de canalisation est arrivée à ce degré de perfection. L'élément principal du système actuel, le barrage mobile, est d'invention relativement récente ; le premier a été construit en 1834, sur l'Yonne, à Basseville, par M. l'inspecteur général des Ponts et Chaussées Poirée, alors ingénieur en chef.

Auparavant, les barrages étaient entièrement fixes ou comprenaient une série de *pertuis* étroits, fermés au moyen d'organes mobiles qui permettaient de les ouvrir, de les *déboucher*, selon le terme classique, pour laisser écouler les crues. Le plus souvent il n'y avait pas d'écluse à sas entre les deux biefs ; la communication se faisait au moyen d'un simple pertuis qu'on débouchait quand on voulait passer de l'un à l'autre. Les trains de bois et les bateaux avalants franchissaient, non sans péril, la cataracte formée par l'écoulement des eaux à travers cette ouverture ; quant aux bateaux montants, ils ne parvenaient à la surmonter qu'avec une difficulté extrême et au prix des plus grands efforts.

Ces barrages, et même, à l'origine, les barrages mobiles, ont servi, sur certaines rivières, à un genre de navigation qui, par opposition avec la *navigation continue* telle que nous l'avons désignée ci-dessus, pourrait s'appeler *navigation intermittente*, mais qui est plus généralement connue sous le nom de *navigation par éclusées*. Quelques détails sur ce mode de navigation, bien qu'il ne soit plus guère en usage aujourd'hui, peuvent n'être pas sans intérêt.

Quand on vient à ouvrir un peu brusquement un barrage, les eaux du bief d'amont se jettent dans le bief d'aval et y donnent naissance à un *flot* qui augmente le débit et surélève le niveau pendant un certain temps ; en un mot, on y produit artificiellement une crue. En entrant plus avant dans l'étude du phénomène, on reconnaît que l'onde née de cette émission d'eau se propage en s'aplatissant à mesure qu'elle

s'éloigne du barrage ; mais elle conserve toujours une inclinaison assez accentuée vers l'aval, tandis que, au contraire, elle est presque horizontale vers l'amont ¹. La vitesse de propagation de l'onde n'est pas très considérable ; sur l'Yonne on a constaté qu'elle atteignait *1 mètre* par seconde.

Si les bateaux ou les trains de bois qui se trouvent sur le passage de cette crue artificielle peuvent se laisser entraîner par elle ; si les barrages sont assez rapprochés pour que la crue puisse se reformer dès qu'elle cesse d'être assez forte (et pour cela des barrages beaucoup moins nombreux que pour la navigation continue suffisent) ; il est évident que la navigation aura pu profiter, pendant un certain temps, de conditions supérieures aux conditions naturelles, et aura traversé une succession de passages qui l'auraient arrêtée sans les *laches* ou *éclusées*, comme on appelle chacune de ces émissions d'eau.

4. Exemple de la Seine et de l'Yonne. — Tel était, il n'y a pas bien longtemps encore, le mode de navigation pratiqué sur nombre de rivières, en tête desquelles il faut placer la Seine (à l'amont de Paris) et l'Yonne ². Il faut reconnaître que sur ces deux cours d'eau la navigation par éclusées était vraiment justifiée, alors que les transports se composaient, en majeure partie, de bois flottés destinés à l'approvisionnement de Paris. Les trains de bois, qui n'avaient qu'un faible tirant d'eau, qui redoutaient peu les avaries, qui n'avaient jamais à remonter le courant, se trouvaient bien d'un système qui leur permettait de franchir les maigres, tout en leur

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1841, 1^{er} semestre. Notice de M. Chanoine.

2. Voir dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, 1873, 1^{er} semestre, la notice publiée par M. l'Ingénieur en chef Cambuzat sur la *Substitution d'une navigation continue, à l'aide de barrages mobiles, à la navigation intermittente produite par les éclusées de l'Yonne, sur la Seine et sur l'Yonne, entre Paris et Auxerre.*

fournissant un moteur économique. Mais à mesure que les bateaux se sont multipliés, par suite de l'ouverture et du perfectionnement des canaux affluents, d'une part, à raison du développement des transports de marchandises autres que le bois et des transports à la remonte, d'autre part, on s'est trouvé en face d'inconvénients sans cesse grandissants.

C'était d'abord le danger que couraient, au passage de chaque barrage, les bateaux entraînés par un courant violent dans une sorte de cataracte. Ils étaient soumis, de l'amont à l'aval, à des inégalités d'immersion qui tendaient à les disloquer ; de plus ils pouvaient se briser contre les bords ou le fond du pertuis, s'ils étaient mal manœuvrés ; et c'étaient là des périls d'autant plus difficiles à accepter que le matériel qui naviguait sur les canaux, en raison même de la sécurité qu'il y rencontrait, n'était pas construit pour affronter de pareilles chances. On a été ainsi conduit à accoler des écluses aux barrages, de façon que les bateaux pussent s'affranchir du passage par les pertuis, sans cesser, pendant le reste du parcours, de profiter des éclusées.

Mais ce n'est pas tout. Chaque lâchure donnait bien une onde dont usaient pendant un certain temps les bateaux descendants ; mais les bateaux montants n'en pouvaient profiter que pendant un temps beaucoup plus court, puisqu'ils marchaient en sens contraire. Pendant le passage du *flot* ils avaient à lutter contre un courant violent, et après ils étaient complètement immobilisés par l'*affameur* qui se produisait à la suite. Chaque retenue, en effet, pour se reformer, arrêtait les eaux de la rivière qui, ainsi appauvrie, s'abaissait en aval et n'offrait plus qu'un mouillage insignifiant. En fait, la navigation n'était possible qu'aux jours et pendant les quelques heures du passage des éclusées, elle était absolument *intermittente* suivant le qualificatif que nous avons employé plus haut. Vainement chercha-t-on à multiplier et à renforcer les éclusées en combinant avec celles du cours d'eau principal des lâchures faites sur les affluents, et en créant sur quelques-uns de ceux-

ci de puissantes réserves d'eau¹ ; le système était condamné.

On se décida alors à rapprocher les barrages, assez pour que chacun d'eux assurât un mouillage suffisant sur le busc d'aval de l'écluse accolée au barrage d'amont et sur les maigres intermédiaires. On réalisa ainsi la *navigation continue*, la *canalisation* telle que nous l'entendons aujourd'hui ; mais il y a fort peu de temps que ce résultat capital a été complètement et définitivement acquis. C'est seulement le 1^{er} septembre 1871 que le régime des éclusées a fait place à la navigation continue entre Montereau et Paris sur la Seine, entre Laroche et Montereau sur l'Yonne. Sur cette dernière rivière, les éclusées ont continué à fonctionner entre Auxerre et Laroche jusqu'au 29 septembre 1874, et en amont d'Auxerre jusqu'au mois d'août 1880. Sur la Seine en amont de Montereau, entre cette dernière ville et Bray-sur-Seine, la dernière éclusée a eu lieu le 26 décembre 1898 et la navigation continue n'a été établie officiellement que le 10 janvier 1899.

5. Division du sujet. — La canalisation des rivières, qui fait l'objet de ce volume, est un vaste sujet ; les développements qu'il comporte forment *dix* chapitres distincts.

Le premier, le présent chapitre, est consacré aux généralités ainsi qu'aux divers systèmes de barrages autres que les barrages mobiles. Ces divers systèmes n'offrent pas seulement un intérêt historique. Ils peuvent, aujourd'hui encore, trouver d'utiles applications dans des circonstances particulières, et aussi sur des cours d'eau de moindre importance commerciale, les cours d'eau simplement flottables par exemple.

Quatre chapitres sont réservés aux différents systèmes de barrages mobiles, à savoir : barrages mobiles à fermettes ; barrages mobiles à pont supérieur ; barrages mobiles à hausses ; barrages mobiles à tambour. Le sixième donne le

1. C'est dans ce but, notamment, qu'a été créé sur la Cure, affluent de l'Yonne, le réservoir des Settons d'une superficie de près de 400 hectares et d'une capacité de 21.000.000 de mètres cubes.

résumé des règles à suivre pour l'établissement d'une retenue au moyen d'un barrage mobile.

Les trois chapitres suivants sont consacrés aux écluses à sas, aux portes d'écluse, à l'emplacement des écluses ainsi qu'à leurs abords et à leurs accessoires.

Un dixième et dernier chapitre traite de l'exploitation des rivières canalisées.

§ 2

DES BARRAGES EN GÉNÉRAL

6. Assimilation des barrages à des déversoirs. —

Un barrage, sur une rivière, peut être assimilé, suivant la position du plan d'eau à l'aval, à un déversoir ordinaire ou à un déversoir noyé; les formules de l'hydraulique permettent donc pour un état déterminé des eaux :

Ou de calculer le relèvement produit en un certain point à l'amont par un barrage de dimensions données ;

Ou de déterminer, sauf à procéder par tâtonnements, les dimensions d'un barrage qui ne produirait, en un certain point à l'amont, qu'un relèvement au plus égal à une limite donnée.

7. Remous. — C'est également aux formules de l'hydraulique que nous renverrons pour la détermination plus ou moins exacte de la nouvelle ligne d'eau à l'amont du barrage, pour le calcul du *remous*.

Nous nous contenterons de signaler ici une méthode approximative très simple due à M. l'inspecteur général Poirée. Elle consiste à assimiler la ligne d'eau, dans l'amplitude du remous, à une parabole à axe vertical dont le sommet coïnciderait avec le niveau de la retenue au droit du barrage

et qui serait tangente à la ligne de pente moyenne du cours d'eau supposé libre ¹.

Il y a lieu de croire que le remous s'étend plus loin, et que son action à une certaine distance du barrage est plus considérable, que ne l'indique la formule établie en partant de cette hypothèse ; mais il importe de dire qu'on ne se sert de formules que pour apprécier la revanche des berges au-dessus de

1. Si nous prenons respectivement pour axes des coordonnées la tangente au sommet Ox et l'axe Oy de la parabole (fig. 1), l'équation de cette courbe sera de la forme

$$x^2 = Py.$$

D'autre part, si on appelle i la pente moyenne du cours d'eau libre et h

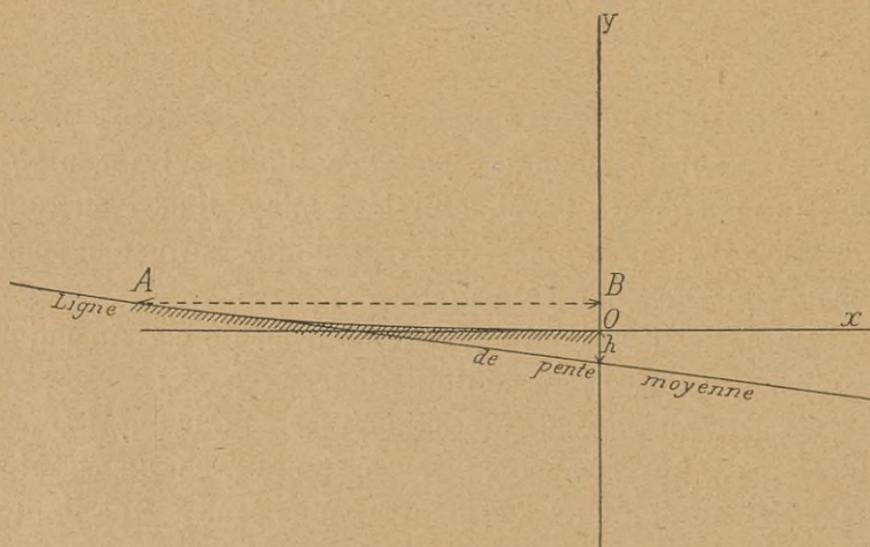


Fig. 1.

la hauteur de retenue, les coordonnées du point de tangence A sont, d'après une propriété bien connue de la parabole,

$$y = OB = h, \quad x = AB = \frac{2h}{i}.$$

On a donc

$$\frac{4h^2}{i^2} = Ph;$$

d'où

$$P = \frac{4h}{i^2},$$

et enfin

$$x^2 = \frac{4h}{i^2} y,$$

équation qui permet de calculer le relèvement du plan d'eau en un point quelconque.

la retenue. Quand il s'agit de déterminer la distribution des barrages sur un cours d'eau et, par conséquent, la situation relative des retenues, on suppose toujours ces dernières horizontales. C'est le moyen d'éviter tout mécompte.

8. Fixation du niveau d'une retenue. — Chaque retenue doit être assez élevée pour fournir, immédiatement à l'aval de la retenue supérieure (notamment sur le busc d'aval de l'écluse correspondant au barrage d'amont), ainsi que sur les hauts fonds intermédiaires, le mouillage nécessaire à la navigation, c'est-à-dire un mouillage supérieur de 0 m. 20 ou 0 m. 30, *au minimum*, au tirant d'eau maximum des bateaux qui fréquentent la voie navigable.

Elle devra cependant n'être pas assez haute pour noyer les rives ; si la submersion avait quelque étendue, ce serait s'exposer à des procès pleins de dangers, les tribunaux considérant avec raison ce genre de dommages comme une dépossession. Il faut donc laisser aux rives une revanche suffisante, non seulement le long du cours d'eau canalisé lui-même, mais encore le long de chaque affluent, dans la partie influencée par la retenue. C'est en vain qu'on chercherait à éviter les dommages par la création de digues ; les digues, alors même qu'elles seraient étanches, ne fourniraient dans l'espèce qu'une protection tout à fait illusoire, les eaux passant par dessous et pénétrant en arrière.

Dans cet ordre d'idées, si on veut éviter complètement qu'il se produise des submersions dans la vallée, il faut encore avoir égard aux modifications que la création des retenues peut apporter au régime des eaux souterraines, et la question ne laisse pas d'être extrêmement délicate. La rivière qui occupe le thalweg d'une vallée, au milieu de dépôts plus ou moins perméables, est généralement le colateur d'eaux souterraines qui, descendant des coteaux, s'écoulent à travers ces dépôts. Ces eaux ne peuvent vaincre la résistance qui s'oppose à leur cheminement à travers les sables et les graviers qu'à la

faveur d'une charge plus ou moins fortée, d'une pente plus ou moins prononcée du coteau vers la rivière. Le relèvement du plan d'eau dans cette dernière, par suite de la création d'une retenue, entraîne un relèvement correspondant des nappes souterraines ; si la vallée est large et plate, celles-ci peuvent fort bien émerger, non pas à proximité de la rive, mais à une assez grande distance, quelquefois au pied même du coteau. Ce fait, d'apparence paradoxale, est parfaitement conforme aux lois naturelles et ne s'est malheureusement produit que trop souvent ; il mérite d'être signalé d'une façon toute particulière à l'attention des ingénieurs.

Il faut encore tenir compte de la situation des usines établies sur le cours d'eau ou sur ses affluents, dans l'amplitude du remous que l'on se propose de créer ; chaque relèvement du plan d'eau d'aval correspond pour elles à une perte de force motrice qu'elles font payer fort cher.

Il faut enfin rechercher si ce remous ne rapprochera pas trop le niveau de l'eau de l'intrados des ponts, s'il ne gênera pas l'écoulement des eaux d'égouts ou l'usage des servitudes qui peuvent exister dans chaque bief.

9. Emplacements des barrages. — On est généralement conduit à placer les barrages un peu en aval des principaux hauts fonds. Dans cette position ils peuvent noyer le haut fond supérieur de toute la hauteur de la retenue, tandis qu'en aval, le bief inférieur présente déjà naturellement un bon mouillage. De plus, s'il arrive, comme quelquefois, que le haut fond soit formé de bancs plus solides que le reste du sol, les conditions pour la fondation des ouvrages pourront être meilleures.

10. Espacement des barrages. — On s'est demandé si, en restant toujours, bien entendu, dans les limites que comporte le relief des berges, il était avantageux de diminuer le nombre des barrages en augmentant leur hauteur.

En ce qui concerne la facilité de la navigation, la réponse n'est pas douteuse. Le passage aux écluses comporte toujours une sujétion et une perte de temps ; moins il y aura d'écluses, c'est-à-dire de barrages, plus ceux-ci seront espacés, mieux cela vaudra.

En ce qui concerne la dépense de premier établissement, il y a généralement aussi avantage à diminuer le nombre des barrages et à les faire plus hauts, car, au moins dans certaines limites, leur prix ne croît pas comme leur hauteur.

Au point de vue de l'entretien, on a objecté que les barrages à grande chute étaient d'une manœuvre plus difficile que les autres ; qu'ils étaient plus exposés aux accidents et que ceux-ci avaient des conséquences plus graves sous tous les rapports. Il ne faut pas oublier, par contre, qu'en multipliant les barrages on augmente forcément le nombre des agents préposés à leur manœuvre ; or le salaire de ces agents représente une dépense qui est loin d'être négligeable.

Enfin on s'est demandé quel effet pouvait avoir, au point de vue de la formation des dépôts, de la configuration du thalweg, l'accroissement de la hauteur de retenue des barrages. Nous pensons que, dans cet ordre d'idées, ce qui importe n'est pas la hauteur de retenue mais le minimum de mouillage que l'on veut obtenir.

Dans une rivière à fond mobile, et elles le sont toutes plus ou moins, dès que le débit, et par conséquent le mouillage naturel, dépasse une certaine limite, les matériaux qui forment le lit se mettent en mouvement ; la rivière roule à la fois de l'eau et des matières solides. Ces dernières se déposent et leur écoulement cesse dès que le débit est redescendu au-dessous de la limite dont il a été parlé plus haut. Lorsque le lit d'une rivière a été fixé d'une manière rationnelle, les dépôts se forment aux mêmes points.

D'autre part, nous avons expliqué que sur une rivière canalisée, les barrages restaient effacés tant que le débit était suffisant pour donner naturellement le mouillage nécessaire à la navigation.

Si ce mouillage est inférieur à celui qui correspond à la mise en mouvement des matériaux du lit, il est évident que le transport et, ce qui est plus important encore, le dépôt de ces derniers, ne sera jamais affecté par les barrages, quelque haute que soit leur retenue, quelque grand que soit leur espacement, puisqu'ils seront toujours effacés pendant la période de transport des matières solides.

Si, au contraire, le mouillage nécessaire à la navigation est supérieur à celui qui correspond à la mise en mouvement des matériaux du lit, les barrages, quelque faible que soit leur retenue, quelque rapprochés qu'ils soient, modifieront les conditions de transport et de dépôt de ces matériaux. Des hauts fonds nouveaux pourront surgir, des ensablements imprévus se produire, qu'il faudra enlever artificiellement, qu'il faudra draguer, après les crues.

C'est là d'ailleurs une nécessité à laquelle il est prudent de toujours s'attendre lorsqu'on établit une canalisation ; il ne semble pas qu'on puisse s'en affranchir en multipliant les barrages et en diminuant leur chute. La conclusion est donc qu'il faut, d'une manière générale, espacer ces ouvrages autant que possible, en donnant à chacun d'eux toute la hauteur de chute qui peut lui être rationnellement attribuée.

§ 3.

BARRAGES FIXES

11. Limites d'application. — Les barrages fixes ont été seuls en usage pendant longtemps. Beaucoup d'entre eux étaient d'ailleurs des barrages usiniers utilisés par la navigation. On sait que l'influence d'un barrage sur l'écoulement des eaux d'une rivière s'affaiblit de plus en plus à mesure que le débit de cette rivière augmente. Ces ouvrages déterminent

une diminution de section dont l'effet, très sensible lorsque les eaux sont resserrées dans un profil mouillé restreint, s'atténue et peut disparaître à peu près complètement devant la section d'inondation.

Toutefois, il y a là une question de mesure qu'on ne saurait perdre de vue. C'est seulement tant que les barrages ont eu pour but de relever le plan d'eau faiblement, de quelques décimètres au plus, que leur peu de relief et leur situation dans le voisinage des hauts-fonds, c'est-à-dire des rapides, ont rendu la proposition incontestable. Le jour où il s'est agi d'obtenir des mouillages de 2 m. 00 et plus, ou même de 1 m. 60, une affirmation aussi nette est devenue impossible sur beaucoup de nos rivières.

12. Position en rivière. — La direction d'un barrage par rapport à l'axe de la rivière peut-elle avoir une influence sur son débit et conséquemment sur le relèvement des eaux à l'amont?

Pour élucider la question, M. l'Inspecteur général Mary a fait les expériences suivantes ¹. Dans un canal rectangulaire qui débitait 133 litres par seconde, il a placé successivement quatre barrages de même hauteur, l'un normal au courant, le deuxième à 45°, et les deux autres dirigés de manière à former, avec la normale, des triangles rectangles dont le grand côté de l'angle droit était égal à 2 ou 3 fois la largeur du canal. Les hauteurs de l'eau à l'amont ont varié comme il est indiqué au tableau ci-dessous :

		RELÈVEMENT	
		absolu	relatif
Hauteur du courant libre.....	0 ^m .153	»	»
Hauteur avec le barrage normal.....	0 ^m .209	0,056	1,00
Hauteur avec le barrage à 1 pour 1.....	0 ^m .173	0,020	0,41
Hauteur avec le barrage à 2 pour 1.....	0 ^m .170	0,017	0,30
Hauteur avec le barrage à 3 pour 1.....	0 ^m .164	0,014	0,20

1. Notes prises par les élèves de l'École des Ponts et Chaussées au Cours de Navigation intérieure, M. Mary professeur, 1860, page 48.

Il résulterait de là que l'obliquité est avantageuse au point de vue de l'écoulement des eaux, au moins en basses eaux, alors que les filets fluides tendant à prendre sur la crête du barrage une direction normale à cette dernière le débit croît avec sa longueur. Il paraît au moins douteux qu'il en soit de même en eaux hautes, alors que les filets fluides tendent à reprendre leur direction primitive, parallèle à l'axe de la rivière.

Une grande obliquité ayant pour effet de rejeter le courant sur une des rives, M. Mary s'est demandé, d'autre part, si un barrage en chevron ne présenterait pas les mêmes avantages qu'un barrage oblique de longueur identique et il est résulté de ses expériences qu'il n'y avait pas de différence sensible. Il convient toutefois, que l'angle ne soit pas trop prononcé : les deux nappes, en se rencontrant pour ainsi dire face à face dans les eaux moyennes, formeraient alors une intumescence qui gênerait l'écoulement sur le barrage même et pourrait accroître le remous en amont.

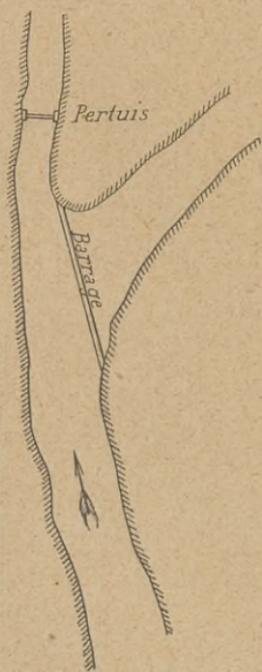


Fig. 2.

Une disposition de barrage oblique qui se rencontre assez fréquemment est représentée dans la figure 2 ci-contre. On a profité d'un coude naturel de la rivière pour y placer le barrage auquel on a pu donner la longueur qu'on a voulu, et on a ouvert à côté un bras artificiel ou bien utilisé un bras secondaire, dans lequel on a placé, soit l'usine, soit le pertuis destiné au passage des bateaux. Dans ce cas, toute la portion de rive comprise entre l'usine ou le pertuis, d'une part, et le barrage, d'autre part, peut, comme ce dernier, former déversoir. Cette disposition est celle de tous les anciens barrages de la Meuse et de la Moselle.

La position une fois arrêtée en tenant

compte des considérations qui précèdent, le barrage peut être construit en maçonnerie à bain de mortier ou en pierres sèches suivant qu'il a besoin ou non d'étanchéité.

13. Barrages en maçonnerie. — Le barrage peut être constitué par un simple mur en maçonnerie auquel on donne une épaisseur moyenne à peu près égale à la chute. Le parement d'aval du mur est vertical, tandis que celui d'amont est disposé, soit en talus, soit par retraites, de manière à augmenter son empatement et à rendre plus difficiles les infiltrations sous les fondations. Dans le même but, on peut placer en amont un remblai en terre argileuse que l'on défend, au besoin, contre la corrosion de l'eau en le recouvrant de moellons. La crête du barrage est en pierres de taille afin de pouvoir résister aux chocs des corps entraînés par les eaux.

C'est dans ce système qu'ont été exécutés les barrages de l'Isle, du Tarn et d'autres rivières du midi de la France. Ils sont généralement construits sur un massif de béton immergé. Si le sol est affouillable, le massif est compris entre deux files de pieux et palplanches, dans une fouille draguée assez profondément pour que le béton soit fortement enraciné dans le fond de la rivière. Si, au contraire, le sol est inaffouillable, le béton est coulé dans un caisson sans fond préalablement échoué.

L'inconvénient le plus grave des barrages à parement vertical tient à la difficulté de les défendre contre les affouillements

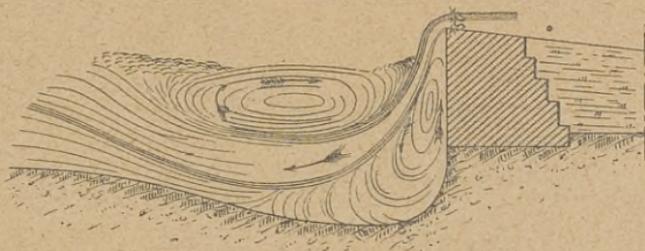


Fig. 3.

auxquels ils sont exposés à l'aval, lorsqu'un volume d'eau considérable, tombant avec une chute encore très marquée,

forme un tourbillon à axe horizontal dont les effets sont extrêmement puissants. Les figures 3 et 4 montrent les phénomènes



Fig. 4.

nes destructeurs observés sur un barrage à parement vertical en eaux ordinaires et en hautes eaux.

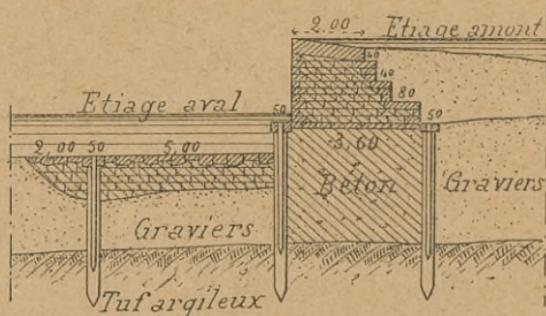


Fig. 5.

Pour remédier à cet inconvénient, on a construit en aval des barrages des radiers généraux en pierres sèches (fig. 5)

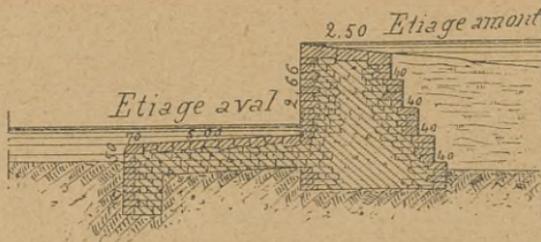


Fig. 6.

ou en maçonnerie (fig. 6) que l'on a prolongés quelquefois jusqu'à 11 et 12 mètres. Mais si le radier n'était pas détruit immé-

diatement par la chute de la nappe d'eau, il se produisait un tourbillon à l'aval ; un affouillement s'y formait ; l'extrémité du radier manquant d'appui tombait dans la cavité et, de proche en proche, l'affouillement gagnait le pied du barrage qui finissait par être détruit. D'une façon générale, l'expérience a prouvé que les barrages à parement vertical ne s'appliquaient sûrement et économiquement que sur les points où le sol est inaffouillable.

Là où le sol était affouillable, on a disposé le parement d'aval en doucine, en adoptant différentes formes pour le couronnement (fig. 7 et 8). Dans tous les cas, le parement en maçon-

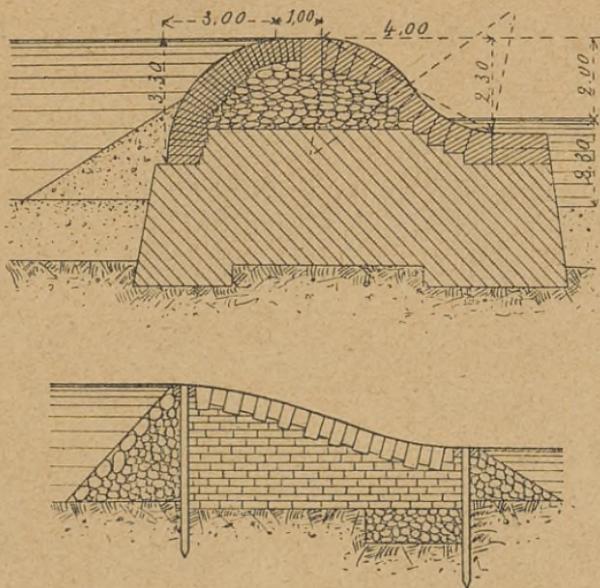


Fig. 7 et 8.

nerie de pierre de taille, pour présenter des conditions de stabilité satisfaisantes, donnait lieu à un appareil dispendieux.

14. Barrages en pierres sèches et charpente. — Quelquefois on a construit des barrages fixes en formant un coffre en charpente au moyen de deux files de pieux et palplanches élevées jusqu'à la crête du barrage et reliées par des tirants, en remplissant le vide avec des moellons ou des graviers, et

en fermant la partie supérieure par un plancher. L'amont et l'aval peuvent être protégés contre les affouillements par des enrochements ; si un radier est nécessaire, il est exécuté en charpente ; lorsque la retenue est considérable, on dispose le parement d'aval en gradins (fig. 9).

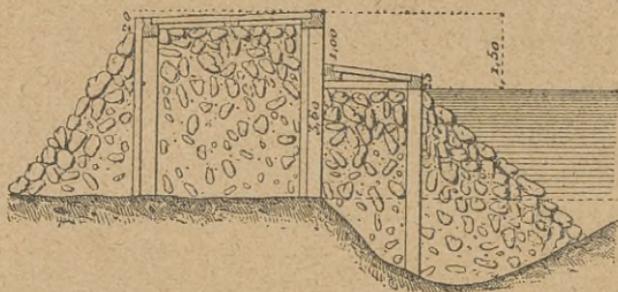


Fig. 9

Mais le mode de construction en pierres sèches et charpente a surtout été employé pour l'exécution des barrages dont le parement d'aval est constitué par un plan incliné, disposition qui prévient la formation des tourbillons destructeurs (fig. 10).

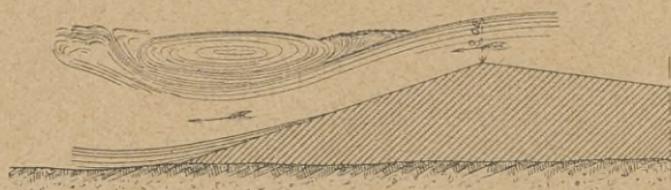
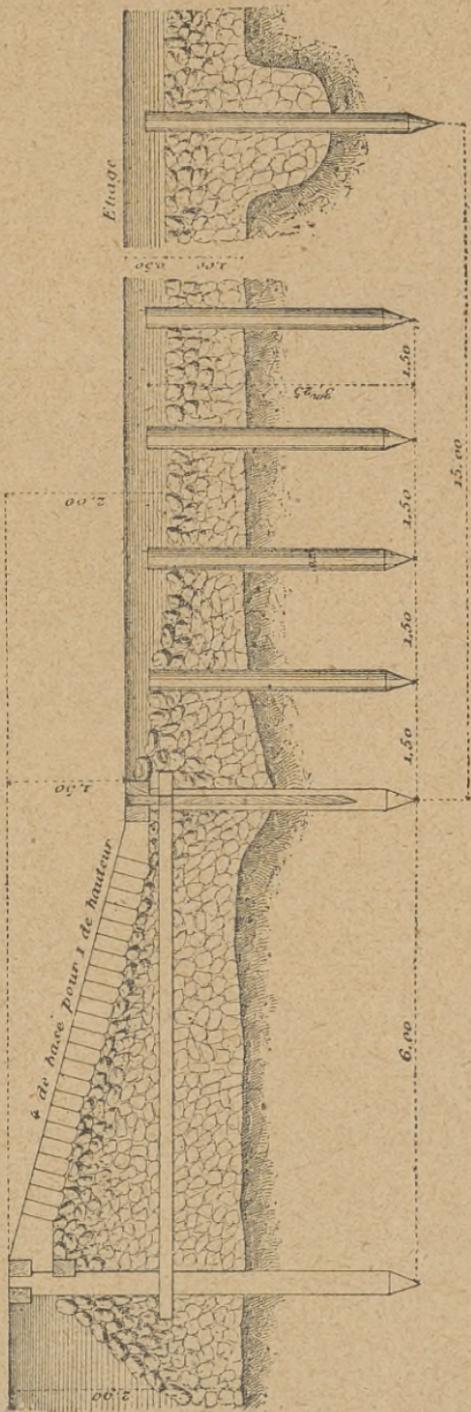


Fig. 10

Comme exemple nous citerons les anciens barrages de l'Oise (pl. I).

La carcasse en charpente se compose : 1° à l'amont, d'une file de pieux reliés par des moises doubles placées au niveau du sommet du barrage et lui servant de seuil ; 2° à l'aval, d'un vannage jointif de pieux et palplanches également reliés par des moises doubles placées immédiatement au-dessous de l'eau inférieure ; 3° de liernes qui relient les pieux de la file d'amont à ceux du vannage d'aval.

COUPE TRANSVERSALE.



PL. I. ANCIEN BARRAGE DE L'OISE

Le massif du barrage est formé de pierres jetées sans autre précaution que d'entremêler les petites avec les grosses, de manière à laisser le moins possible de vides. Les deux talus sont exécutés, celui d'amont avec des blocs irréguliers, et celui d'aval avec des moellons dressés en parements et présentant des lits et joints retournés d'équerre, de manière à former un glacis bien plan.

Malgré les heureux effets de la forme en plan incliné, il y a lieu de prendre des dispositions en vue de prévenir les affouillements qui pourraient se produire à l'aval.

Le moyen le plus efficace est de former à la suite du barrage, avant de le mettre en service, ou mieux avant de le construire, un enrochement en pierres perdues dans l'emplacement duquel on a préalablement fiché en quinconce de petits pieux dont la tête s'élève au-dessus des pierres. Le choc de l'eau s'amortit tant contre les pieux que contre les enrochements, qui sont d'ailleurs devenus solidaires les uns des autres.

Si la rivière n'était pas assez profonde pour que l'on pût former l'enrochement avec l'épaisseur nécessaire, tout en conservant encore au dessus une hauteur d'eau suffisante, on devrait draguer le sol avant d'enfoncer les piquets et exécuter l'enrochement dans la fouille. Il faut, en effet, pour que ce radier soit le plus utile possible, qu'il s'abaisse progressivement à partir du niveau des moises du vaunage d'aval, afin que la vitesse que l'eau acquiert en s'écoulant sur le glacis s'anéantisse plus promptement par l'effet de l'accroissement de section qu'on lui a ménagé et de la masse d'eau qu'elle rencontre. La longueur de l'enrochement varie d'ailleurs avec la nature du sol et les autres circonstances locales.

On pourrait croire qu'au lieu de draguer pour former le logement de l'enrochement, il serait plus simple de compter sur le fonctionnement du barrage pour pratiquer cette fouille. Elle se ferait, en effet ; mais il arriverait infailliblement qu'elle se creuserait d'une manière inégale et, s'il survenait une crue avant que l'enrochement eût été exécuté en totalité, il se pour-

rait que le barrage fût emporté. D'ailleurs, les produits de l'affouillement iraient se déposer en aval et y produiraient des attérissements qui nuiraient à la navigation et qu'en définitive il faudrait enlever. Il vaut donc mieux commencer par là, et même exécuter l'enrochement en aval du barrage avant de faire celui du massif ; on est ainsi mieux à l'abri des chances d'avaries.

D'autre part, il ne faut jamais oublier de se ménager sur un point quelconqué un débouché suffisant pour assurer l'écoulement des eaux pendant la construction du barrage. Il convient donc, en général, d'exécuter avant le barrage le pertuis ou l'écluse à sas qui doit en être le complément.

Il arrive quelquefois que l'écluse ne se prête pas bien à l'écoulement des basses eaux ; il faut alors établir, en outre, un pertuis de fond, qui permette de laisser un libre cours à ces eaux et de les ramener à leur niveau naturel. On s'en servira pour réparer facilement les ouvrages pendant les chômages, comme on s'en sera servi lors de la construction du barrage.

§ 4

BARRAGES A VANNES

15. Définitions. — Au cours de ce chapitre, le lecteur a déjà plus d'une fois rencontré le mot *pertuis*. On désigne ainsi une ouverture, généralement rectangulaire, présentant un *radier* horizontal et deux *bajoyers* verticaux, qui est destinée à permettre l'écoulement des eaux et parfois aussi (jadis le cas était fréquent) le passage des trains de bois et même des bateaux. Pour remplir leur objet, ces pertuis doivent être alternativement fermés et ouverts, ou, pour employer des termes qu'un usage fort ancien a rendu classiques, *bouchés* et *débouchés* ; d'où le nom de *bouchure* donné à l'ensemble

des organes mobiles dont ils sont munis à cet effet et le titre de *déboucheurs* attribué aux agents chargés de leur manœuvre.

Nous avons vu que les barrages fixes comportaient, à défaut d'écluse à sas, et même quelquefois à côté de cet ouvrage, un pertuis. D'autres barrages sont formés d'un ou de plusieurs pertuis compris entre culées ou piles en charpente ou en maçonnerie. Ces barrages, qu'on appelle souvent *barrages avec organes mobiles soutenus par des appuis fixes*, pour ne les point confondre avec les barrages mobiles entièrement dont nous nous occuperons dans les chapitres suivans, se distinguent par le mode de bouchure.

Lorsque la bouchure est formée par un panneau unique, le barrage est un *barrage à vannes*.

16. Type le plus simple de barrage à vannes. — Voici, comme exemple, un type extrêmement rustique dont on trouve des spécimens dans tous les moulins de village.

Deux *montants* verticaux en charpente sont encastrés sur une partie de leur hauteur dans les culées en maçonnerie et assemblés du pied avec une autre pièce de charpente, une semelle horizontale ou *seuil*, aussi encastrée dans la maçonnerie du radier. Des montants intermédiaires également assemblés avec le seuil constituent les piles qui séparent les différens pertuis; ils sont, en tant que de besoin, consolidés par des jambes de force en bois ou en fer. Tous les montants sont reliés en tête par une pièce de charpente horizontale ou *chapeau*.

Les montants portent sur l'arête antérieure une feuillure de 0 m. 05 à 0 m. 06 de largeur dans laquelle les vannes s'engagent de toute leur épaisseur et peuvent glisser (fig. 41). Chaque vanne est un panneau formé de madriers horizontaux reliés par des traverses verticales et suspendu à une tige médiane également verticale qui passe à travers le chapeau et sert à manœuvrer la vanne. A cet effet, la tige est percée de trous dans lesquelles peuvent être engagées des chevilles en

fer. Ces chevilles ont un double objet : elles permettent de soulever la vanne au moyen d'un levier en pied de chèvre qui

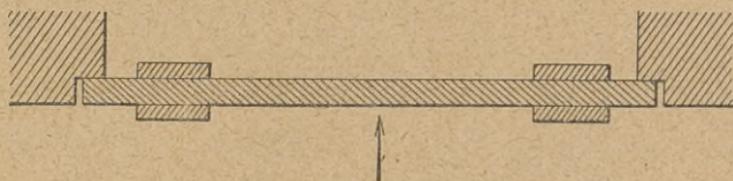


Fig. 11

constitue le plus simple des appareils de manœuvre, et aussi de fixer cette vanne en un point quelconque de sa course.

Pour pouvoir faire ces différentes manœuvres, un plancher de service est nécessaire. Quand la distance entre les deux culées n'est pas trop grande, un simple madrier jeté de l'une à l'autre en fait l'office. Si la portée est plus considérable, le plancher de service est soutenu de distance en distance par des consoles fixées aux montants formant pile.

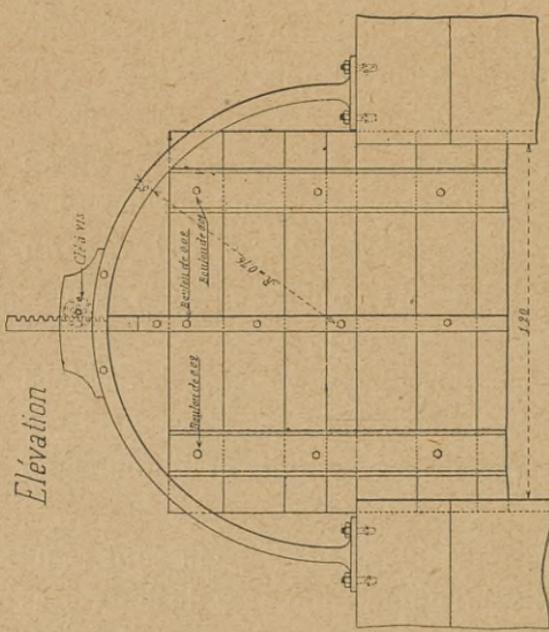
17. Vannes des Wattringues du Nord et du Pas-de-Calais. — La planche II (page 24) représente un type de vanne employé depuis longtemps avec succès dans les Wattringues du Nord et du Pas-de-Calais. Si nous le comparons au type précédemment décrit, nous constaterons ceci.

La portion des montants en bois encastrée dans les culées est remplacée par des coulisses sciées dans des blocs de pierre de 0 m. 32 à 0 m. 40 de côté, posés en délit et d'une seule pièce.

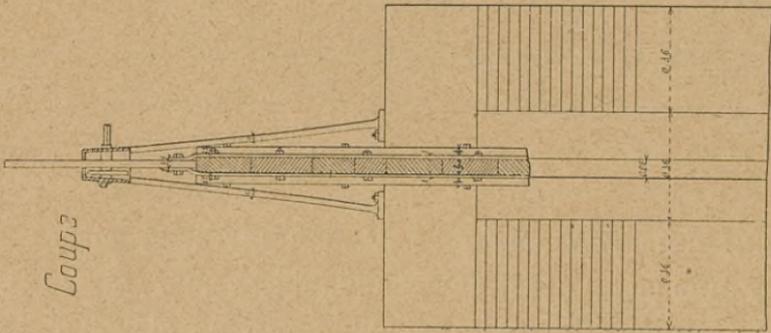
La partie supérieure des montants et le chapeau sont remplacés par une petite ferme métallique composée de deux arcs de forme elliptique se rapprochant vers le sommet. L'intervalle entre les deux arcs permet le passage de la vanne qui peut ainsi être levée à toute hauteur.

La tige médiane, métallique, se termine par une crémaillère commandée par un pignon. Ce dernier repose sur la partie supérieure des arcs ; il est simplement couvert par un chapeau

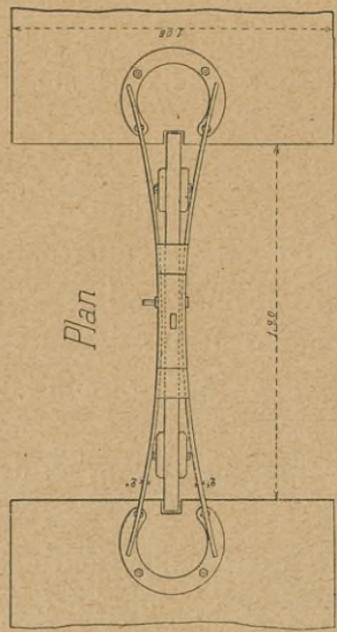
Elevation



Coupe



Plan



PL. II. VANNES DES WATRINGUES DU NORD ET DU PAS-DE-CALAIS

en métal et libre en dessous, de façon que le graissage puisse se faire sans rien démonter. Une roue en tôle percée de trous est calée sur le même arbre que le pignon et tourne avec lui ; il suffit d'introduire une clef à vis dans l'un des trous pour fixer la vanne dans la position correspondante.

L'ouvrage représenté dans la planche II n'a que 1 m. 20 entre culées ; mais l'ouverture peut atteindre 3 m. et plus moyennant certains changements de détail. Le mode d'attache de la crémaillère à la vanne est alors modifié de manière que la crémaillère reste verticale lorsque la vanne est entièrement levée. La roue percée de trous est une roue d'engrenage qui est elle-même commandée par un autre pignon. Les arcs, au lieu d'être de simples fers méplats, sont en treillis et sont réunis par un certain nombre de traverses.

18. Barrage de Charlottenbourg sur la Sprée. —

Lorsque le barrage doit avoir une longueur un peu considérable, on le divise d'abord en pertuis distincts par de véritables piles en maçonnerie qui peuvent être largement espacées ; mais chaque pertuis est, ensuite, subdivisé au moyen de montants, en un certain nombre d'orifices dont la largeur est ramenée aux dimensions usuelles.

Telle est la disposition adoptée au barrage de Charlottenbourg sur la Sprée, un peu en aval de Berlin, ouvrage important que nous avons eu occasion de visiter en 1888 ¹.

Il présente une largeur totale de 45 m. 87 entre culées, divisée en quatre pertuis de 10 m. 50 d'ouverture par trois piles en maçonnerie ayant chacune 1 m. 29 de largeur. Chaque pertuis est subdivisé à son tour par des montants métalliques en cinq orifices fermés par des vannes de 2 m. 10 de largeur et de 2 m. 80 de hauteur. Ces vannes sont manœuvrées au

1. Voir, pour la description complète de cet ouvrage, le mémoire de M. E. Mohr, inspecteur des travaux hydrauliques, inséré dans la *Zeitschrift für Bauwesen*, année 1886, sous le titre *Die Stauanlage in der Spree bei Charlottenburg*.

moyen de doubles vérins actionnés simultanément par des crics fixés au pont de service métallique qui règne entre les culées et repose sur les piles en maçonnerie.

Cet ouvrage se recommande d'ailleurs à l'attention par une disposition très ingénieuse, qui a permis d'assurer son fonctionnement complet sans être obligé de relever d'une manière exagérée, et par conséquent dispendieuse, le niveau du pont de service.

Lorsque les vannes sont levées à toute hauteur, leur sommet s'arrête à la cote d'altitude (33,37) ; leur hauteur étant de 2 m. 80, leur arête inférieure resterait à l'altitude (30,57) soit à 1 m. 63 en contrebas du niveau des hautes eaux qui s'élèvent à l'altitude (32,20) ; cela est inadmissible. Pour parer à cet inconvénient, les vannes sont suspendues aux tiges filetées des vérins par des articulations horizontales autour desquelles elles peuvent tourner, et un treuil circulant sur la partie aval du pont de service permet de les relever sous le tablier où elles sont accrochées. Chaque vanne se compose d'ailleurs de deux panneaux articulés au moyen de charnières horizontales. Le point d'attache de la chaîne du treuil est au-dessus des charnières, si bien que la vanne en se relevant se replie, et vient finalement occuper la position indiquée en pointillé sur la planche III. Elle est alors entièrement masquée par le tablier.

19. Vannes Stoney. — Dans les différents ouvrages que nous venons de passer en revue, les vannes glissent contre deux montants. Lorsque leurs dimensions deviennent importantes, leur poids et surtout le frottement contre les montants opposent à la manœuvre une résistance qui ne peut être vaincue que par des efforts très considérables.

Pour tourner cette difficulté, un ingénieur anglais, M. Stoney, a eu l'idée de substituer le frottement de roulement au frottement de glissement.

Soit une vanne verticale A fermant un pertuis ; dans le système Stoney, au lieu de glisser contre deux montants

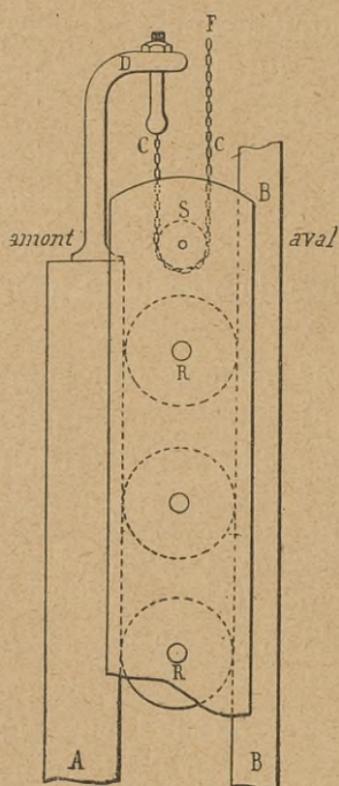


Fig. 12

elle repose, de chaque côté, sur un train de galets *R* roulant sur un rail vertical *B* (fig. 12).

Le train de galets est suspendu à la vanne *A*. A cet effet, une chaîne *C* est attachée par une extrémité au support *D*, c'est-à-dire à la vanne, et par l'autre à un point fixe *F*; le brin montant et le brin descendant forment une boucle qui contourne la poulie *S* fixée à l'armature du train de galets.

Si l'on fait monter la vanne d'une hauteur *h*, la poulie *S* et par suite le train de galets, monteront de $\frac{h}{2}$.

C'est précisément la proportion qui doit exister entre le chemin respectivement parcouru par la vanne et par le centre de chaque galet pour que

le roulement soit possible.

On conçoit qu'une vanne de ce genre doit être très facile à manœuvrer, mais elle a un défaut qui saute aux yeux, le manque d'étanchéité. Ce défaut peut n'être pas redhibitoire; toutes les vannes n'ont pas besoin d'être étanches, notamment celles dont la crête forme déversoir comme il arrive dans bien des barrages; il est cependant des cas où on ne saurait s'en accommoder.

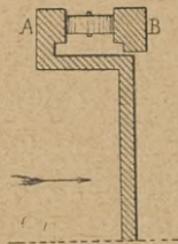


Fig. 13

Si on n'a pas besoin d'une étanchéité parfaite, on peut se contenter de la disposition indiquée en coupe dans la figure 13; la vanne *A* présente un avant-corps qui glisse à très petit jeu entre les deux faces latérales planes des rails *B*.

Si on veut une étanchéité complète, on a recours à un arti-

fiée plus compliquée. La vanne sur galets est doublée du côté d'aval d'une vanne ordinaire qui s'appuie contre deux montants et retient parfaitement l'eau d'amont. Entre les deux vannes, quand elles sont baissées, l'eau est au niveau d'amont; la vanne ordinaire est donc pressée contre ses montants comme si la vanne à galets n'existait pas; au moment de la manœuvre, il faut supprimer cette pression. A cet effet on a ménagé, au bas de la vanne d'aval, un orifice qui peut être ouvert à volonté et dont la section est assez grande pour que le volume évacué soit supérieur à celui des fuites latérales de la vanne d'amont. L'eau descend donc entre les deux vannes et s'abaisse sensiblement au niveau d'aval. La pression se trouve ainsi entièrement reportée sur la vanne à galets qui sera manœuvrée comme dans le cas ordinaire une fois que la vanne d'aval, n'ayant plus aucune charge à supporter, aura été relevée sans difficulté.

20. Barrage de Chèvres. — Le barrage de Chèvres établi sur le Rhône, à 6 kilomètres en aval de Genève, pour créer la chute motrice d'une usine hydro-électrique, présente une application intéressante des vannes Stoney.

Les vannes, au nombre de six, mesurent 3 m. 50 de hauteur sur 10 m. de largeur. Comme elles ont à supporter une pression qui peut s'élever à 300 tonnes, elles sont renforcées à leur face aval par neuf puissantes fermes paraboliques. Le poids de chaque vanne est de 50 tonnes, mais il est équilibré au moyen de deux contre-poids formés de caisses en tôle remplies de ferrailles.

Grâce à cette disposition et à l'emploi du système Stoney, ces vannes sont d'une manœuvre relativement facile, puisqu'il suffit de deux hommes pour l'effectuer.

21. Systèmes divers. — Nous n'avons jusqu'ici considéré que des vannes susceptibles de se mouvoir dans un plan vertical, vannes *glissantes* ou *roulantes*; mais on peut construire

également des vannes *tournantes*. En rapprochant suffisamment l'axe de rotation du centre de figure ou du centre de pression, suivant le cas, on peut avoir des vannes qui se manœuvrent avec un extrême facilité ; seulement, cette facilité ne s'acquiert qu'aux dépens de l'étanchéité.

Le barrage établi par M. Poirée fils à l'aval du Pont-Neuf, à Paris, au débouché du petit bras de la Seine, et généralement connu sous le nom de barrage de la Monnaie, est un barrage à vannes tournantes. Chaque pertuis est fermé par une vanne en forme de portion de cylindre à axe horizontal tournant autour du dit axe. Lorsque la vanne est abandonnée à l'action de la pesanteur, elle vient se loger derrière son seuil dans une cavité ménagée à cet effet dans le radier. Quand, au contraire, on veut former retenue, on soulève le panneau cylindrique vers l'aval, à la hauteur où l'on veut le maintenir. Pour faciliter ces manœuvres, la vanne est équilibrée au moyen de contrepoids.

Reuvent également dans la catégorie des barrages à vannes les bateaux-portes dont un spécimen a fonctionné jadis à Andrésy ¹, sur la Seine. Ces ouvrages, très rarement employés dans la navigation intérieure, sont au contraire très usités dans les ports de mer ; ils ressortissent plutôt au cours de travaux maritimes.

Citons enfin les portes à bateaux qui fonctionnent encore sur le grand Morin, affluent de la Marne. Chaque pertuis est fermé par une seule vanne, de grandes dimensions, dont le chapeau est constitué par une barre tournante susceptible de décrire un quart de cercle dès que la vanne, levée à toute hauteur, n'est plus appuyée par la pression de l'eau. Le pertuis peut être ainsi démasqué pour donner passage aux bateaux ou trains de bois. La vanne de l'ancienne porte à bateaux d'Ésbly fermait un pertuis de 4 m. 57 de largeur et mesurait 4 m. 83 de hauteur.

1. Voir le *Cours de navigation intérieure, rivières et canaux*, de M. l'inspecteur général Guillemain, tome I, p. 365.

Est-il nécessaire de dire que les radiers de tous les ouvrages que nous venons de passer en revue doivent être protégés, par d'importants massifs d'enrochements disposés à l'aval, contre les affouillements que pourrait causer l'émission de l'eau par les vannes ?

§ 5

BARRAGES A POUTRELLES

22. Dispositions générales. — Dans les barrages de cette espèce, la bouchure est formée de pièces de bois horizontales superposées qui s'engagent par leurs extrémités dans des coulisses ménagées à cet effet dans les bajoyers des pertuis. Ces pièces de bois horizontales ou *poutrelles* sont placées les unes au-dessus des autres jusqu'à la hauteur voulue pour obtenir la retenue désirée.

Pour faciliter le maniement des poutrelles, différents dispositifs sont en usage. Tantôt elles portent à chaque bout une cheville en fer horizontale qui déborde et qui peut être saisie au moyen d'un croc double (fig. 14) ; tantôt elles présentent,

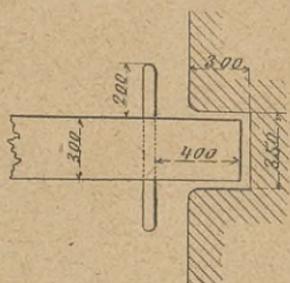


Fig. 14

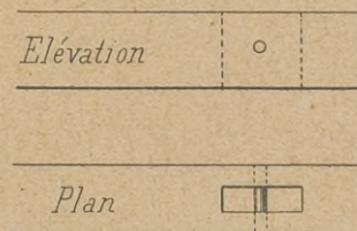


Fig. 15

également à chaque bout, une mortaise verticale traversée par un goujon horizontal en fer qui peut être saisi au moyen d'un croc simple (fig. 15).

Il peut arriver que le poids des poutrelles ne soit pas assez considérable pour les faire descendre jusqu'au radier. Alors on les charge avec de nouvelles poutrelles qu'on laisse tomber d'une certaine hauteur afin de produire un choc propre à vaincre le frottement et à déterminer l'enfoncement de la bouchure.

23. Echappement successif des poutrelles. — La manœuvre des poutrelles une à une est nécessairement fort longue ; on a eu quelquefois recours à des dispositions plus expéditives, au moins pour les enlever. On a, par exemple, fait une des coulisses assez profonde et assez large pour qu'en poussant les poutrelles à fond dans cette coulisse elles cessent de porter dans la coulisse opposée, et puissent se dégager aisément. Pour les pousser, on se sert d'un levier que l'on introduit entre le fond de la plus petite coulisse et l'extrémité de chaque poutrelle coupée en biseau à cet effet (fig. 16). D'autre part, il est essentiel que les poutrelles ne puissent pas s'échap-

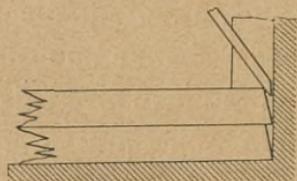


Fig. 16

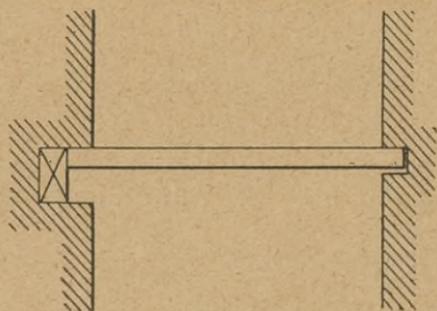


Fig. 17

per d'elles-mêmes et que, lorsqu'on les pose, elles portent toujours dans les deux coulisses ; dans ce but, on place au fond de la plus grande une pièce de bois que l'on retire seulement au moment d'effectuer la manœuvre (fig. 17).

C'est là le débouchage par *échappement successif*.

24. Echappement simultané. — Dans certaines circonstances, il est nécessaire de pouvoir provoquer l'*échappement simultané* de toutes les poutrelles, pour déboucher entière-

ment et brusquement le pertuis ; divers procédés ont été mis en usage à cet effet.

Un de ces procédés consiste à appuyer les poutrelles, par l'une de leurs extrémités, sur un poteau demi-cylindrique vertical mobile autour de son axe, appelé *poteau valet* (fig. 18), en ayant soin qu'elles ne s'avancent pas tout à fait jusqu'à cet axe. La pression qu'elles exercent tend alors à faire tourner le poteau ; mais il est facile de résister à cet effort, dont le bras de levier n'a que quelques centimètres, au moyen d'un long et fort levier solidement fixé à la tête du poteau. Pour que les poutrelles ne s'avancent pas jusqu'à l'axe du poteau pendant leur mise en place, on dispose, dans le fond de la coulisse, une pièce verticale que l'on enlève après qu'elles sont posées. Quand on veut déboucher brusquement le pertuis, on laisse faire au poteau un quart de révolution ; il se trouve alors entièrement logé dans la maçonnerie, et toutes les poutrelles s'échappent simultanément. Pour éviter qu'elles soient entraînés au loin et souvent perdues, ces poutrelles sont d'ailleurs retenues, chacune par une chaîne spéciale, au bajoyer du pertuis.

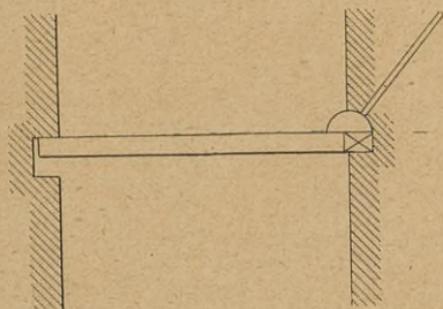


Fig. 18

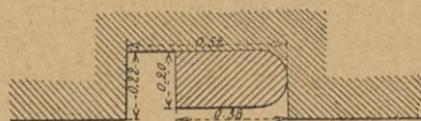


Fig. 19

Le poteau tournant demi-cylindrique peut être remplacé par un poteau tournant méplat, qui se loge entièrement dans la maçonnerie lorsqu'il occupe la position correspondant au débouchage du pertuis (fig. 19), mais qui, moyennant un quart de révolution, vient saillir sur le parement du bajoyer. Le

poteau étant maintenu dans cette dernière position par une cale convenablement disposée, on appuie sur la saillie l'une des extrémités des poutrelles l'autre étant engagée dans une coulisse ordinaire. Il suffit de faire sauter la cale d'un coup de marteau pour provoquer le mouvement de rotation du poteau et l'échappement simultané de toutes les poutrelles. Ce dispositif a été appliqué au barrage établi sur l'Orb, au-dessous de Béziers, pour le passage du canal du Midi; il est décrit et figuré avec tous les détails désirables dans le cours de M. Mary¹.

On trouve également décrit et figuré en détail dans le même cours² un troisième dispositif qui a été appliqué au barrage de la Truchère, sur la Seille; nous nous contenterons d'en faire connaître sommairement le principe. Les poutrelles s'appuient d'une extrémité dans un refouillement d'un des bajoyers, de l'autre contre un poteau vertical entièrement en saillie sur l'autre bajoyer. Ce poteau peut s'abattre sur le radier en tournant autour d'un axe horizontal correspondant à son extrémité inférieure, mais il est maintenu dans la position verticale par un verrou contre lequel il s'appuie par son extrémité supérieure. Il suffit de chasser ce verrou à coups de marteau pour provoquer le mouvement de rotation du poteau et l'échappement simultané des poutrelles.

25. Inconvénients des barrages à poutrelles. — Pour prévenir les affouillements que ne sauraient manquer de produire les brusques émissions d'eau résultant de semblables manœuvres, il est indispensable de constituer et d'entretenir à l'aval des radiers des barrages à poutrelles d'importants massifs d'enrochements. C'est d'ailleurs là, il faut bien le dire, une nécessité à laquelle n'échappe aucun genre de barrage. Ce qui est spécial à l'espèce c'est la violence avec laquelle les pou-

1. *Notes prises par les élèves au cours de navigation intérieure*, 1860, page 54, planche 17.

2. *Notes prises par les élèves au cours de navigation intérieure*, 1860, page 55, planche 18.

treilles viennent, lors de l'échappement, choquer le bajoyer auquel elles sont enchaînées. Si ces poutrelles ont des longueurs un peu importantes, elles sont souvent brisées, et les maçonneries peuvent être ébranlées.

Mais le principal inconvénient des barrages à poutrelles, c'est que les dimensions transversales de ces pièces de bois croissent très rapidement avec leur longueur ; elles cessent bien vite d'être maniables. On ne saurait pratiquement leur donner plus de 4 à 5 mètres de longueur, exceptionnellement et pour de très petites chutes, 6 à 8 mètres. Aussi, ce genre de barrage, malgré sa simplicité et son économie, n'est-il pas susceptible de bien nombreuses applications.

§ 6

BARRAGES A AIGUILLES

26. Dispositions générales. — Dans les barrages de cette espèce, la bouchure est formée par des pièces de bois légèrement inclinées sur la verticale, juxtaposées, qui s'appuient du pied contre une saillie du radier nommée *seuil* ou *heurtoir* et de la tête contre une *barre* traversant le pertuis.

Les pièces de bois juxtaposées portent le nom d'*aiguilles* ; leurs dimensions dépendent seulement de la distance entre le seuil et la barre et de la charge d'eau qu'elles ont à supporter, c'est-à-dire de la chute. On voit de suite que la facilité de leur manœuvre est complètement indépendante de la largeur du pertuis.

27. Pertuis à aiguilles de la Haute-Yonne. — Il existe encore, sur la Haute-Yonne, des barrages fixes dans lesquels sont ménagés deux pertuis inégaux destinés : l'un, le grand, le *pertuis* proprement dit, à la navigation et au flottage ;

l'autre, le petit, appelé *Gautier*, au règlement de la retenue.

Le pertuis présente une barre mobile, portée par un pivot sur l'un des bajoyers et appuyée contre un arrêt sur l'autre. Cette barre constitue, à vrai dire, un pont tournant de faible largeur. Anciennement elle était constituée par un seul arbre entier et grossièrement équarri ; la partie voisine de la souche, un peu en dehors du pivot, formait la culasse, tandis que la partie opposée formait la volée. Aujourd'hui, on fait des barres de pertuis en métal (Pl. IV).

Lorsque la barre est fermée, elle donne appui à la tête des aiguilles dont le pied est arrêté par un heurtoir de 0 m. 10 à 0 m. 15 de hauteur, en saillie sur le radier. Ces aiguilles de 0 m. 04 d'épaisseur sur 0 m. 06 de largeur ont une hauteur en

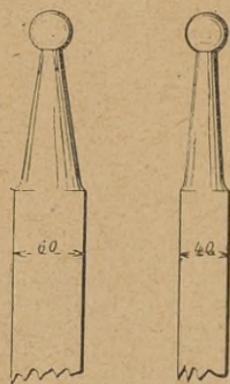


Fig. 20

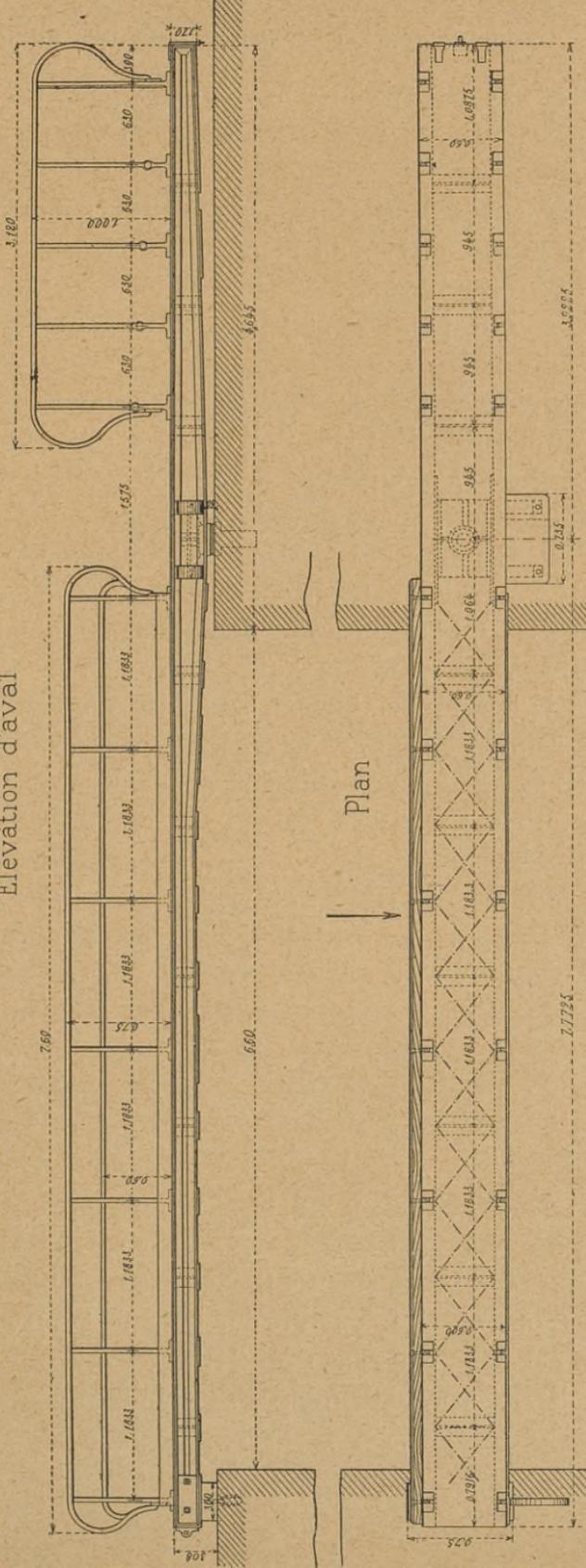
rapport avec la distance de la barre au heurtoir ; leur tête est arrondie et amincie afin qu'elles puissent être facilement empoignées (fig. 20). L'agent chargé de la manœuvre du pertuis, le *déboucheur*, arrive rapidement à manier les aiguilles avec une grande facilité, soit pour les enlever, soit pour les replacer en se tenant sur la barre. A la culasse de cette barre se trouve une sorte de crèche qui reçoit les aiguilles enlevées ou attendant la mise en place.

Quand on veut déboucher brusquement le pertuis, il suffit de dégager l'extrémité de la barre de l'arrêt contre lequel elle bute ; sous l'effet de la pression de l'eau sur le rideau d'aiguilles, la barre tourne de 90° ; l'ouverture du pertuis est subitement démasquée. Les aiguilles seraient entraînées au loin par le courant si on n'avait pas eu la précaution de les relier toutes à une corde, dite *cincenelle*, dont une extrémité est amarrée à la culée et avec laquelle on les ramène en chapelet après le débouchage.

Les portes marinières, dont le type était la porte marinière de l'ancien barrage de St-Maur sur la Marne ¹, avaient la plus

1. Voir le *Cours de navigation intérieure, rivières et canaux*, de M. l'inspecteur général Guillemin, tome I, page 317.

Élévation d'aval



Pl. IV. BARRE MÉTALLIQUE D'UN PERTUIS DE LA HAUTE-YONNE

grande analogie avec les pertuis de l'Yonne ; nous ne nous y arrêterons pas.

28. Pont-pertuis de Belombre. — L'idée ne pouvait manquer de venir, d'utiliser un pont pour constituer un barrage en transformant chaque arche en un pertuis. C'est notamment ce qui a été réalisé sur la Haute-Yonne, à Belombre.

Le pont-pertuis de Belombre, entièrement en maçonnerie, comprend sept arches, dont six de 8 m. 00 d'ouverture, et la septième, l'arche médiane, de 11 m. 00. Une écluse pour le passage des bateaux occupe une des arches de rive, tandis que l'arche médiane forme pertuis de flottage. Les cinq autres constituent autant de pertuis, mais uniquement pour le règlement de la retenue et l'écoulement des crues. Tous ces pertuis sont fermés au moyen d'aiguilles, comme ceux que nous venons de décrire, seulement les barres d'appui ne sont *pas tournantes mais levantes*. Elles peuvent être soulevées parallèlement à elles-mêmes jusqu'au-dessus de l'intrados des arches du pont au moyen de crics à double crémaillère établis

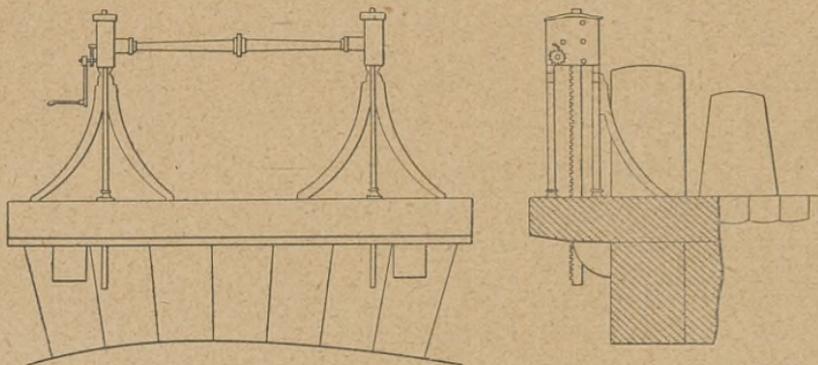


Fig. 21

sur de grandes pierres en encorbellement, qui correspondent au cordon du pont, et dont la saillie sur le nu de la maçonnerie est soutenue par deux consoles (fig. 21).

Nous n'insisterons pas davantage. Le lecteur pourra trouver

tous les détails relatifs à cet ouvrage dans un mémoire de M. l'Ingénieur en chef Boucher de la Ruppelle ¹.

29. Barrage à câble. — Le même mémoire contient des renseignements au sujet d'un genre de barrage appliqué aussi anciennement sur l'Yonne et qui, s'il ne rentre pas précisément dans la catégorie des ouvrages que nous étudions en ce moment, doit cependant être mentionné ici, comme formant la transition entre ces ouvrages et ceux dont l'étude fera l'objet des chapitres suivants. C'est, en effet, sauf erreur, le premier type que l'on rencontre d'un barrage entièrement mobile, susceptible de barrer une rivière dans toute sa largeur, sans appuis fixes intermédiaires. A notre avis, le nom le plus suggestif qu'on puisse donner à ce genre de barrage dont la figure 22 montre la coupe transversale est celui de *barrage à câble*.

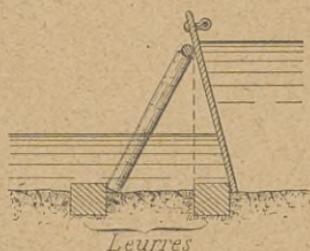


Fig. 22

Deux fortes pièces de bois appelées *leures*, placées parallèlement, et en partie enterrées dans le sol du fond de la rivière dont elles occupaient toute la largeur, formaient le radier. Ces pièces étaient retenues par quelques pieux, et deux culées complétaient la partie fixe du système. Un câble solidement fixé à l'une des culées était tendu par un treuil établi sur l'autre. Lorsqu'il était tendu, il était attaché sur le treuil de manière qu'une simple ficelle fixée à un clou à crochet l'empêchait de s'échapper ; il se trouvait alors à peu près dans le plan vertical passant par l'arête d'aval du leurre supérieur.

Des planchettes en bois blanc, de 0 m. 20 à 0 m. 25 de largeur sur 0 m. 03 d'épaisseur, dont le pied venait s'arrêter contre le leurre supérieur, étaient appuyées sur le câble dans une position légèrement inclinée. Chaque planchette était percée de deux trous, donnant passage à une cordelette formant bou-

1. 1836, *Annales des Ponts et Chaussées*, 2^e semestre.

cle. Lorsque toutes les planchettes étaient placées, on passait une cincenelle dans toutes les boucles, on la liait avec le câble, de distance en distance, et ensuite à ses extrémités.

Enfin, le câble était contrebuté de distance en distance par de simples rondins de bois, dont le pied était appuyé contre le leurre d'aval et dont la tête, un peu refouillée, embrassait le câble auquel ces pièces de bois étaient d'ailleurs attachées.

Lorsqu'on voulait ouvrir le barrage, il suffisait de couper la ficelle qui retenait le câble sur le treuil; alors il se déroulait, et le courant entraînait tout, câble, planchettes et rondins sur la rive opposée au treuil. On allait ensuite, en bateau, retirer toutes ces pièces pour les employer à un nouveau bou-chage.

CHAPITRE II

BARRAGES MOBILES A FERMETTES

§ 1. *Description générale du barrage Poirée.* — § 2. *Bouchure.* — § 3. *Fermettes et leurs accessoires.* — § 4. *Parties fixes. Appréciation du système.*

§ 4

DESCRIPTION GÉNÉRALE DU BARRAGE POIRÉE

30. Idée de principe. — Les barrages que nous avons étudiés dans les §§ 4, 5 et 6 du précédent chapitre se distinguent les uns des autres par le mode de bouchure, mais ils présentent ce caractère commun d'être formés d'un nombre plus ou moins grand de pertuis accolés, de largeur médiocre, séparés par des appuis fixes.

Lorsque ces barrages sont ouverts, lorsque la bouchure est enlevée, le défaut de largeur des pertuis et la fixité des appuis qui les séparent mettent un sérieux obstacle au passage des corps flottants et surtout des embarcations, parfois même à l'écoulement des eaux.

L'idée géniale de M. Poirée, réalisée par lui pour la première fois sur l'Yonne, à Basseville, en 1834, consiste à multiplier encore les pertuis, par conséquent à réduire leur largeur, mais à substituer aux appuis fixes de petites fermes en

métal, des *fermettes*, de forme trapézoïdale, susceptibles de tourner autour d'un axe horizontal inférieur dirigé dans le sens du courant, et de se rabattre dans un refouillement du radier où elles sont entièrement masquées. Le barrage peut donc disparaître complètement et alors la rivière est rendue absolument à son cours naturel. Cette invention a fait dans la navigation intérieure une véritable révolution, jusqu'à un certain point comparable à celle qu'avait produite l'invention de l'écluse à sas ; elle a été le point de départ de l'essor qu'a pris, dans certains pays, la canalisation des rivières.

Chaque fermette, lorsqu'elle est debout, est réunie à la précédente et à la suivante par deux barres métalliques, barre d'*appui* à l'amont, barre d'*assemblage* à l'aval, qui maintiennent exactement l'écartement des fermettes. La barre d'appui, et un seuil en saillie sur le radier soutiennent les aiguilles qui constituent la bouchure. Enfin la partie supérieure des fermettes supporte une passerelle légère formée de simples planches juxtaposées ; c'est de cette passerelle que s'exécutent les diverses manœuvres.

Nous aurions été heureux de mettre sous les yeux du lecteur, comme un monument de l'histoire des travaux publics, une image fidèle, établie d'après des documents originaux, du barrage de Basseville dans son état primitif ; nous avons dû nous contenter de moins.

La première description détaillée que l'on trouve d'un barrage à fermettes mobiles est celle du barrage d'Épineau, construit en 1838 ; cette description a été donnée par M. Chanoine, qui devait plus tard s'illustrer à son tour par l'invention d'un système de barrage. Le mémoire de M. Chanoine a paru dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de 1839 (1^{er} semestre) ; l'auteur y exprime précisément le regret que M. Poirée n'ait pas pu publier quelques notes sur les barrages à fermettes mobiles dont il était l'inventeur.

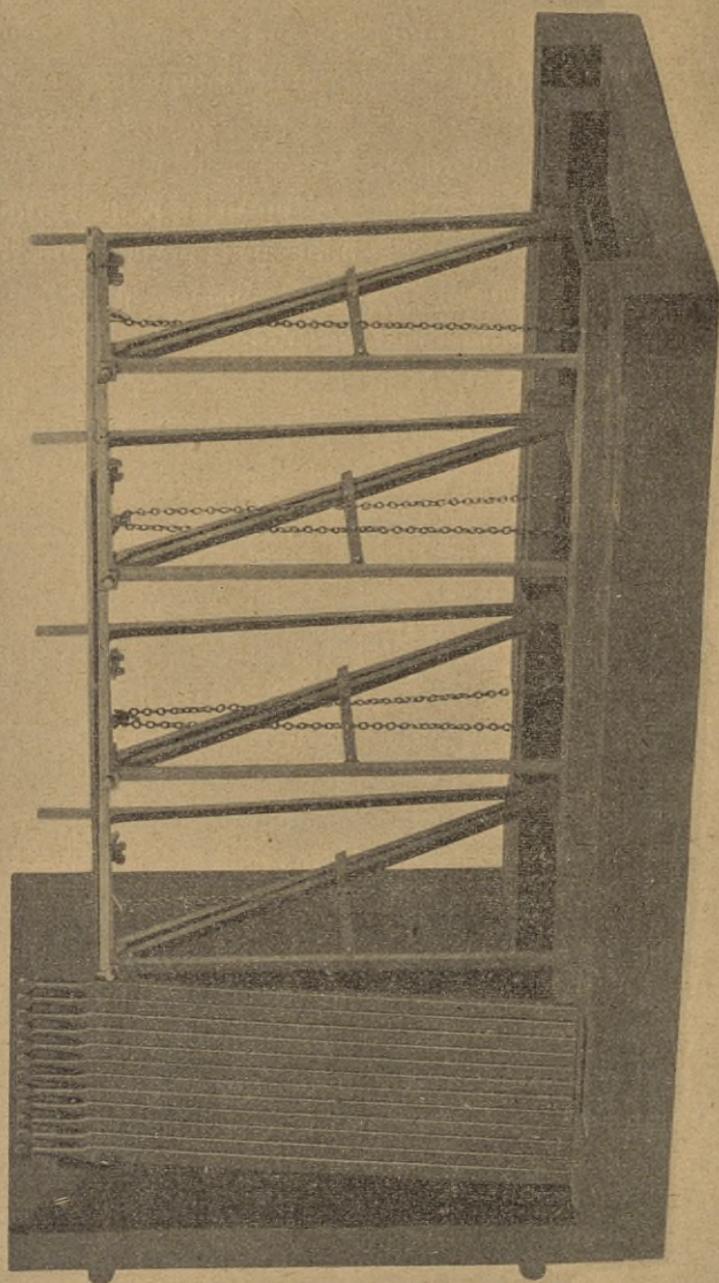
Dans son cours de navigation (tome III, page 174), M. de Lagrené reproduit, au moins en partie, le texte d'une confé-

rence faite par M. Poirée à l'École des Ponts et Chaussées, en 1844 ; mais le barrage de Basseville est à peine nommé dans ce texte, les dimensions indiquées sont celles du barrage de Decize construit en 1836 et, avec une modestie bien digne d'être citée, l'illustre inventeur parle beaucoup des perfectionnements introduits dans la construction des barrages, sur le Cher, par M. l'ingénieur en chef d'Haranguier de Quincerot.

Enfin l'École des Ponts et Chaussées possède un modèle qui lui a été donné par M. Poirée lui-même, mais le barrage que ce modèle reproduit plus ou moins exactement est celui qui a été construit en 1841, sur la Seine, à Bezons, pour remplacer l'ancien pertuis de la Morue. Quoi qu'il en soit, nous avons pensé qu'il serait intéressant de donner une reproduction photographique de ce modèle (pl. V, page 44).

La vue est prise d'amont ; les fermettes sont au nombre de quatre. Leur forme de trapèze à bases horizontales ressort très nettement ; le montant d'amont est vertical, celui d'aval légèrement incliné ; elles sont consolidées par un *bracon*, pièce placée diagonalement et reliée au montant d'amont, à mi-hauteur, par une entretoise horizontale. La base inférieure, que l'on aperçoit dans le refouillement du radier destiné à recevoir les fermettes quand elles sont couchées, se termine par des tourillons qui s'introduisent dans les crapaudines correspondantes. Une seule travée (intervalle entre deux fermettes) est garnie de planches formant passerelle ; ces planches apparaissent assez peu nettement. On voit mieux les barres qui réunissent les fermettes à l'amont et à l'aval ; une travée est garnie d'aiguilles. Le prolongement des montants d'aval au-dessus des traverses supérieures a pour objet de retenir les aiguilles que l'on met en dépôt sur les fermettes. Les chaînes qui relient deux fermettes consécutives servent aux manœuvres ainsi que nous allons le voir.

31. Manœuvres de relevage et d'abatage. — Supposons que le barrage ait été préalablement effacé ; on veut ten-



PL. V. MODELE DU BARRAGE A FERMETTES MOBILES DE BEZONS

dre la retenue et, à cet effet, barrer la rivière. On relève successivement les fermettes au moyen des chaînes qui vont de l'une à l'autre. Aussitôt que chacune d'elles est debout, on la réunit à celle qui précède par les barres d'appui et d'assemblage ; on pose alors la passerelle à l'aide de laquelle on s'avance ; et de proche en proche se constitue l'estacade métallique qui doit supporter la bouchure.

Devant cette estacade viennent ensuite se ranger, avec une légère inclinaison sur la verticale, les aiguilles que l'on place en nombre suffisant pour donner au bief supérieur le niveau voulu, et que l'on répartit sur la longueur du barrage de telle façon que l'écoulement s'opère dans la direction la plus favorable. On augmente le nombre des aiguilles à mesure que le débit diminue.

Si au contraire, à l'approche d'une crue, le débit augmente, on enlève la quantité d'aiguilles nécessaire et même la bouchure toute entière suivant les circonstances. Puis, si on craint les corps flottants ou les glaçons, on fait tomber successivement chaque fermette en retirant la passerelle ainsi que les barres d'appui et d'assemblage qui la réunissent à la précédente et la rivière redevient libre.

Nous verrons, en étudiant les organes caractéristiques de ce système de barrage, les difficultés que peuvent présenter dans la pratique ces diverses manœuvres. Pour le moment, il nous suffit de constater qu'elles sont nécessairement assez longues.

32. Echappements. — Or, à l'époque où les premiers barrages Poirée furent établis sur l'Yonne et sur la Seine, la navigation s'y faisait par éclusées, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut. La lenteur des manœuvres d'ouverture n'était pas sans présenter des inconvénients au point de vue du passage du flot ; diverses dispositions furent imaginées pour accélérer ces manœuvres. Le but commun des différents systèmes d'*échappement* (c'est le nom générique de ces dispositions) était d'obtenir le départ simultané de toutes les

aiguilles comprises dans une même travée, et, en même temps, de provoquer la chute brusque de la fermette extrême ; il fallait, en effet, assurer un libre passage, non seulement au flot, mais encore aux trains de bois et aux bateaux qu'il entraînait avec lui.

MM. Poirée fils et Michal, M. Chanoine, M. Salmon, ont donné leur nom à différents échappements qui paraissent avoir parfaitement répondu à ce que l'on en attendait. D'après M. Poirée on pouvait, avec le procédé qui porte son nom, ouvrir en *six* minutes une passe de 30 mètres de largeur.

Ces appareils sont décrits par le menu dans les *Annales des Ponts et Chaussées*¹ ou dans les anciens cours de navigation ; nous n'en parlerons pas davantage attendu que leur emploi n'aurait plus de raison d'être aujourd'hui. Les avantages qu'ils offraient au point de vue du régime des éclusées ont disparu avec ce mode de navigation, les graves inconvénients qu'ils présentaient déjà à l'époque resteraient seuls. Il est aisé de concevoir, en effet, que la brusque irruption d'une masse considérable d'eau qui résultait de semblables manœuvres pouvait avoir des effets désastreux sur les parties fixes des barrages ainsi que sur le fond et les berges du cours d'eau à l'aval ; les aiguilles et autres pièces entraînées au fil de l'eau, bien que rattachées par une cincenelle, étaient plus ou moins avariées ; enfin les fermettes abattues brusquement et sans contrôle pouvaient n'être qu'imparfaitement couchées, exposées dès lors à se fausser ou à se briser et à former écueil pour les bateaux.

Maintenant que nous avons une idée générale de ce qu'est un barrage mobile à fermettes, nous pouvons examiner successivement avec quelque détail les différentes parties qui le constituent, à savoir :

La bouchure ;

Les fermettes et leurs accessoires ;

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1843, 1^{er} semestre ; Mémoires de MM. Chanoine et Ch. Poirée, pages 240 et 264.

Les parties fixes.

Nous terminerons en faisant ressortir les avantages et les inconvénients de ce système de barrage mobile.

§ 2

BOUCHURE

33. Aiguilles primitives. — Dans les premiers barrages mobiles à fermettes, les aiguilles qui formaient la bouchure n'avaient que de très faibles dimensions. Ainsi, les aiguilles du barrage d'Epineau mesuraient 2 m. 45 de longueur, avec 0 m. 07 de largeur et 0 m. 04 d'épaisseur; leur poids était de 6 kilogrammes. On conçoit que sous une chute habituellement comprise entre 1 mètre et 1 m. 50 la manœuvre s'exécutait avec facilité. Cependant, même dans ces conditions, elle n'est pas sans exiger de la part des agents une certaine habitude.

34. Manœuvre des aiguilles. — Il faut, suivant les circonstances, enlever des aiguilles ou les mettre en place.

Quand il veut enlever une aiguille, le barragiste la prend par la tête; d'un mouvement brusque il l'écarte de la barre d'appui, la repousse vers l'amont, en refoulant l'eau, puis la ramène sur les aiguilles voisines. Dans ce mouvement, l'aiguille repoussée s'appuie sur celle qui lui est contiguë par un point de son arête situé vers le bas et fait un léger mouvement de bascule qui lui permet de quitter la place qu'elle occupait sur le seuil. La pression qu'exerce l'eau sur elle est alors à peu près annulée et il est aisé de la retirer en la faisant glisser sur celles qui lui servent de soutien. D'ailleurs, à mesure que le barrage se dégarnit, la chute va en s'effaçant et les dernières aiguilles s'enlèvent avec la plus grande facilité, puisqu'elles ne sont plus que très légèrement pressées contre leurs appuis.

La mise en place des aiguilles présente plus de difficulté. Le barragiste, debout sur la passerelle et tenant l'aiguille en mains, l'immerge à peu près verticalement, à deux ou trois décimètres en amont de sa position définitive ; il la plonge ainsi jusqu'à ce qu'il sente le radier, puis il laisse marcher l'aiguille sous l'impulsion du courant ; l'extrémité inférieure, tout en frottant sur le fond, vient s'appuyer contre le seuil, tandis que l'extrémité supérieure s'applique sur la barre d'appui.

Cette opération n'est pas sans danger et exige un certain tour de main. En effet, si l'immersion n'est pas assez complète pour que l'aiguille poussée par le courant rencontre la saillie du seuil, l'extrémité inférieure est chassée vers l'aval avec violence ; la barre d'appui, formant point fixe, alors que l'aiguille fait levier, le barragiste est entraîné vers l'amont par une force contre laquelle il ne peut se défendre qu'en abandonnant l'aiguille ; or c'est là ce qu'un ouvrier peu expérimenté n'a pas toujours la présence d'esprit de faire et il peut être jeté à l'eau à l'amont du barrage.

Si, au contraire, l'immersion de l'aiguille est trop complète, si cette aiguille rencontre le radier trop loin de la saillie du seuil, le frottement transforme l'extrémité inférieure en un point fixe. La poussée de l'eau, se reportant alors sur l'extrémité supérieure, refoule le bras qui la soutient, par un effort d'autant plus dangereux qu'alors l'ouvrier est généralement dans une position gênante pour résister ; il peut être jeté à l'eau à l'aval.

35. Augmentation des difficultés avec l'accroissement des retenues. — Naturellement, les diverses manœuvres que nous venons de décrire sont d'autant plus délicates que les aiguilles ont des dimensions plus considérables, et que la passerelle est moins bien placée pour mettre le barragiste à son aise. Au début de l'invention elles étaient, en somme, relativement très aisées.

Mais quand les chutes se sont accentuées pour répondre aux besoins nouveaux de la navigation, quand l'augmentation du mouillage a entraîné l'augmentation de la profondeur des passes, les aiguilles ont dû recevoir à la fois *plus de longueur* et une *plus forte charge*. De là nécessité d'accroître rapidement leurs trois dimensions et de leur donner un poids qui les rendait de moins en moins maniables, surtout si on voulait se maintenir dans les conditions de résistance habituellement admises pour les bois.

36. Calcul des dimensions d'une aiguille. — Un calcul élémentaire permettrait d'apprécier l'effort auquel peut être soumis le bois dans une aiguille en tenant compte de la répartition sur la longueur de cette aiguille, de la charge due à la pression de l'eau¹.

1. Soit BS cette aiguille (fig. 23); supposons pour plus de simplicité qu'elle est verticale, que le niveau du bief d'amont coïncide avec celui de la barre d'appui B et que le bief d'aval est abaissé jusqu'au niveau du seuil S; désignons par H la hauteur d'eau BS et par l la largeur de l'aiguille dans le sens perpendiculaire au courant.

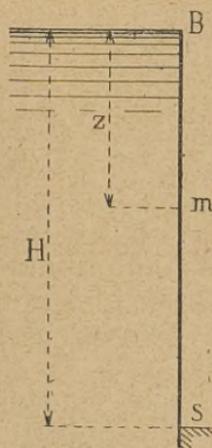


Fig. 23

La pression supportée par l'aiguille, exprimée en tonnes de 1.000 kilogrammes, est

$$\frac{lH^2}{2};$$

son moment par rapport au point d'appui inférieur est

$$\frac{lH^2}{2} \times \frac{H}{3} = \frac{lH^3}{6};$$

la réaction sur l'appui supérieur est donc

$$\frac{lH^2}{6}.$$

Le moment fléchissant, suivant une section quelconque m située à une profondeur z au-dessous de la retenue, aura pour expression

$$M = \frac{lH^2}{6} \times z - \frac{lz^2}{2} \times \frac{z}{3} = \frac{l}{6} z (H^2 - z^2).$$

La valeur de z correspondant au maximum du moment fléchissant s'obtient en égalant à 0 la dérivée de l'expression ci-dessus; on a donc l'équation

Mais il est encore possible de simplifier le calcul. Il résulte, en effet, des expériences faites par M. l'inspecteur général Chevallier ¹, que les flexions prises par un madrier restent à peu de choses près les mêmes quand la charge totale qui lui est imposée se répartit uniformément sur toute sa longueur ou se distribue, comme la pression de l'eau, proportionnellement à cette longueur. Les moments fléchissants, à la section la plus chargée, ne diffèrent que de $\frac{1}{39}$ et M. Chevallier se résume en disant que « sous le double rapport de la résistance « et de la flexion, les actions exercées par la même charge « totale, dans ces deux cas en apparence si dissemblables, « sont presque identiques ».

Il ne faut d'ailleurs pas perdre de vue que, sur une aiguille en service, la charge ne croît proportionnellement à sa longueur que dans la partie comprise entre le niveau du bief d'amont et celui du bief d'aval ; au-dessous de ce dernier, elle est uniforme.

En résumé, on peut, sans erreur sensible, calculer les dimensions d'une aiguille en la considérant comme une poutre droite reposant sur deux appuis et chargée uniformément du poids total représentant la pression de l'eau qu'elle supporte.

Dans le calcul qui fait l'objet de la note de la page précédente, nous avons admis, pour simplifier, que l'aiguille était verticale. En réalité, les aiguilles ont sur la verticale une inclinaison qui est généralement comprise entre $1/4$ et $1/10$.

Si l'inclinaison est trop faible, si le bois employé est peu dense, il peut arriver que les aiguilles placées les premières au

$$H^2 - 3z^2 = 0, \quad \text{d'où} \quad z = \frac{H}{\sqrt{3}} ;$$

le moment fléchissant maximum est, par suite, égal à

$$\frac{ZH^3}{9\sqrt{3}} ;$$

il est facile d'en déduire les dimensions à donner à la pièce.

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1850, 1^{er} semestre.

déclin d'une crue ne reçoivent pas de l'eau une pression suffisante pour être maintenues en place par les frottements contre les points d'appui. D'autre part, une forte inclinaison accroît la longueur, ainsi que la portée et, par conséquent, le poids ainsi que le travail du bois.

Il faut concilier, autant que faire se peut, ces conditions contradictoires. Avec des aiguilles courtes, en sapin, on pourra aller jusqu'à une inclinaison de $1/4$. Pour des aiguilles longues et en chêne, l'inclinaison sera moindre ; mais il est douteux qu'il y ait jamais avantage à descendre au-dessous de $1/10$, si on veut que la manœuvre soit possible.

Quoi qu'il en soit, dès que l'écartement des appuis augmente et aussi la pression que les aiguilles ont à supporter, les dimensions de ces dernières et, par suite, leur poids, doivent s'accroître rapidement.

37. Insuffisance des dimensions des aiguilles employées pendant longtemps en France. — En France, pendant longtemps, on a reculé devant l'emploi d'aiguilles de fort équarrissage et par conséquent lourdes. La section carrée de $\frac{0 \text{ m. } 08}{0 \text{ m. } 08}$ semblait une limite infranchissable. Comme conséquence, le travail du bois dans les aiguilles dépassait les limites ordinairement admises, s'élevait au *cinquième* et même au *quart* de sa résistance à la rupture, ce qui est, à coup sûr, très exagéré. Quelque soin que l'on mit au choix des bois, les ruptures d'aiguilles étaient incessantes et celles qui résistaient prenaient des flèches si prononcées qu'il devenait impossible de former des rideaux un peu étanches.

Nombre d'ingénieurs ont dépensé des trésors d'ingéniosité à la recherche de l'aiguille idéale, celle qui, tout en restant légère, aurait une grande résistance et formerait des rideaux bien étanches.

La première idée qui devait venir à l'esprit consiste à adopter pour l'aiguille une section, non plus carrée, mais rectangulaire, le plus grand côté étant placé dans le sens de la pres-

sion de l'eau. Mais les essais tentés dans cette direction ont montré qu'un madrier méplat ne peut pas se tenir de champ sous ce genre de pression, lorsqu'il y a une différence très notable entre les deux côtés de sa section ; le courant le rejette forcément à plat, par un effet de torsion dont le barragiste n'est pas maître. Pour qu'au milieu des trépidations que leur imprime l'eau en mouvement qui les entoure, les aiguilles rectangulaires puissent se tenir de champ, il faut qu'elles aient une section *très voisine* du carré.

Nous ne citerons que pour mémoire les aiguilles à section hexagonale semi-régulière qui se juxtaposent en se recouvrant légèrement par les faces latérales ¹, les aiguilles à section en forme de **I** ou de carré évidé ², etc.

Nous ne dirons également qu'un mot des *barres de soulagement* ¹ qui ont été essayées vers 1870, aux barrages de Martot, de Bezons et d'Andrécy sur la Seine. Ces barres, placées à mi-hauteur des fermettes et soutenues par elles, offraient aux aiguilles un troisième point d'appui, précisément à leur maximum de flexion. Les aiguilles résistaient assurément mieux à la charge permanente de l'eau, mais leur insuffisance se manifestait au moment du débouchage. La traction énergique que l'on devait exercer sur leur tête pour les arracher à leur triple support amenait de très nombreuses fractures. Comme d'ailleurs l'emploi de la barre de soulagement était une complication, mettait obstacle à certaines manœuvres, il ne s'est pas généralisé.

38. Aiguilles des barrages de la Meuse belge. Echappement Kummer. — Cependant, en Belgique, on n'avait pas hésité à admettre les grosses et lourdes aiguilles avec toutes les conséquences que leur poids peut entraîner.

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1870, 2^e semestre, notice de M. Saint-Yves.

2. *Cours de navigation* de Lagrenée.

Les barrages de la Meuse belge ¹, dont les premiers ont été commencés en 1853, comportent une chute qui pour certains d'entre eux atteint 2 m. 50, le niveau d'amont étant réglé normalement à 3 m. 10 au-dessus du seuil et celui d'aval à 0 m. 60. Longues de 3 m. 75, les aiguilles avaient une largeur uniforme de 0 m. 099 pour une épaisseur de 0 m. 099 en bas, de 0 m. 090 en haut et de 0 m. 121 vers le milieu. Grâce à ces dimensions transversales et à leur forme qui se rapproche de celle d'un solide d'égale résistance, ces aiguilles ne travaillaient qu'à raison de 87 kilogrammes par centimètre carré, ce qui n'a rien d'exagéré ². Il est vrai qu'en adoptant cette forme, on perdait la faculté de pouvoir placer l'aiguille sur une face quelconque, ce qui est un avantage des sections carrées uniformes, et qu'avec ces dimensions on atteignait le poids de 25 kilogrammes environ par aiguille.

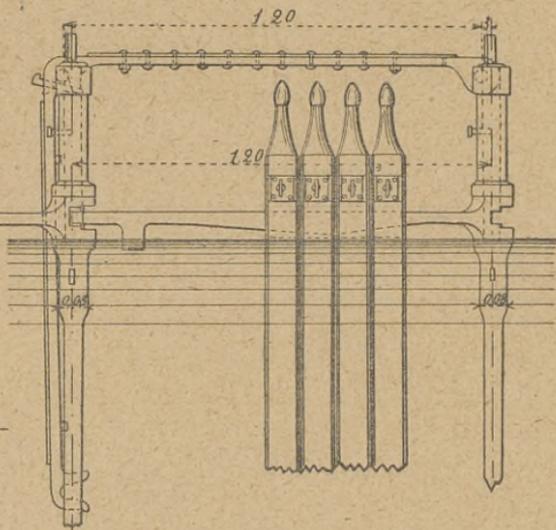
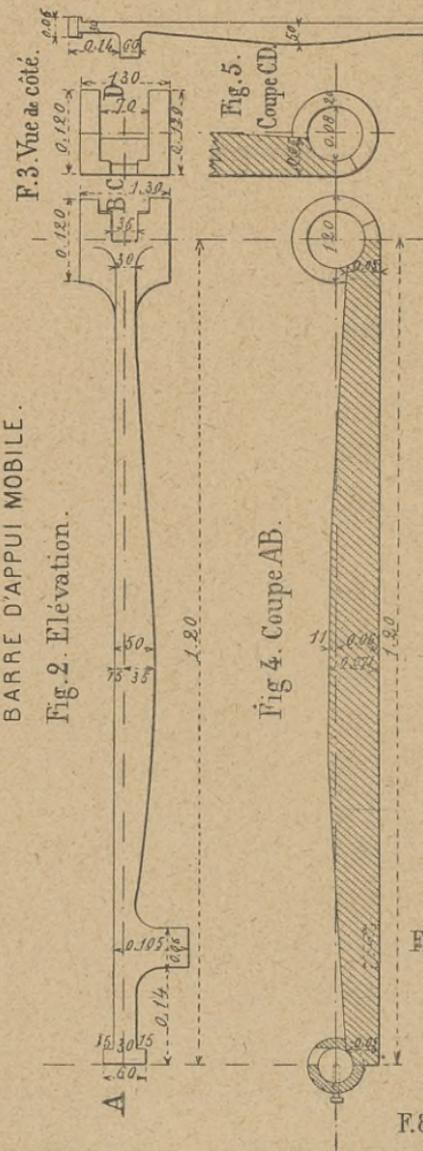
En ce qui concerne l'enlèvement de ces lourdes aiguilles, la difficulté a été résolue par l'emploi de l'échappement Kummer qui est représenté avec quelque détail dans la planche IV (page 54).

Pour bien faire comprendre le fonctionnement de ce dispositif, assez compliqué, il est nécessaire de donner quelques explications préalables sur la conformation des fermettes de la Meuse belge. Le cadre proprement dit de la fermette, de forme trapézoïdale, a sa traverse supérieure exactement arasée au niveau de la retenue d'amont, mais il est surmonté d'un cadre rectangulaire de 0 m. 50 de hauteur. C'est autour de la traverse supérieure de ce second cadre que tournent les griffes qui assurent la réunion de chaque fermette à la précédente, et sur lesquelles sont rivées des plaques de tôle dont l'ensemble

1. *Mémoire sur les travaux de canalisation de la Meuse entre Namur et la frontière française* par M. Martial Hans, ingénieur en chef directeur des Ponts et Chaussées, Bruxelles, 1880.

2. Dans les mêmes conditions, les aiguilles à section carrée uniforme de $\frac{0 \text{ m. } 08}{0 \text{ m. } 08}$ travailleraient à raison de 169 kilogrammes par centimètre carré.

Fig. 1. ÉLÉVATION D'ENSEMBLE - VUE D'AMONT



POTEAU-VALET.

ÉTUI.

ÉLÉVATION.

ÉLÉVATION.

F. 10. Vue de côté. F. 11. Vue d'amont.

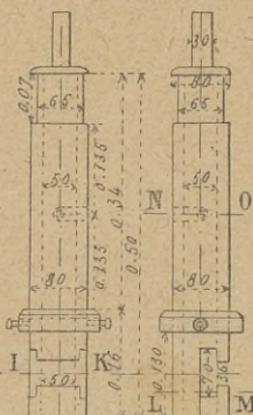


Fig. 6. Fermé. Fig. 7. Ouvert.

Fig. 13. Coupe N O.

F. 12. Coupe IK.



F. 14. Coupe J M.



F. 8. Coupe EF. F. 9. Coupe GH.



forme la passerelle de service. L'assemblage des fermettes entre elles est donc indépendant de la barre d'appui.

Cette dernière (fig. 1, 2, 3, 4 et 5) se trouve à quelques centimètres seulement au-dessus du niveau de la retenue d'amont; elle peut tourner de 90° autour d'un arbre vertical formé par un étui cylindrique qui constitue le montant d'amont du cadre rectangulaire, et qui est soudé à peu près dans le prolongement du montant d'amont de la fermette. La barre mobile s'appuie par son autre extrémité sur un poteau-valet vertical (fig. 6 à 9) placé dans l'étui (fig. 10 à 14) de la fermette précédente; dans cette position elle constitue l'appui supérieur des aiguilles.

Le poteau-valet est cylindrique sur toute la hauteur de l'étui dans lequel il est engagé, sauf pour la partie inférieure, qui correspond à l'extrémité de la barre mobile (coupe GH, fig. 7 et 9); cette partie est découpée et présente la forme d'un demi-cylindre. L'étui aussi est découpé (coupes IK et LM, fig. 10 et 12, 11 et 14) pour laisser libre passage à l'extrémité de la barre mobile de la fermette suivante, et il en est de même, pour la même raison, de la partie postérieure du manchon (fig. 2 à 5) au moyen duquel la barre mobile de la fermette est reliée à l'étui de cette fermette et peut tourner de 90° autour dudit étui. Il y a donc, à la base du montant d'amont du cadre rectangulaire, trois cylindres concentriques: le poteau-valet, l'étui et le manchon de la barre.

La tête du poteau-valet, au-dessus de l'étui, est carrée (fig. 7), ce qui permet de faire tourner ce poteau au moyen d'une clef. L'amplitude angulaire du mouvement du poteau-valet est limitée à 90° , au moyen d'une vis fixée à ce poteau et traversant librement une rainure de même amplitude pratiquée dans l'étui de la fermette (fig. 11 et 13).

Il suffit de tourner le poteau-valet de façon qu'il ne soutienne plus l'extrémité libre de la barre mobile pour que celle-ci, cédant à la pression de l'eau, se rabatte contre sa fermette et laisse tout le jeu d'aiguilles correspondant partir au fil de l'eau. On a eu soin de relier préalablement toutes ces aiguilles

par une corde ou cincenelle qui permet de les ramener ensuite.

L'enlèvement des aiguilles se fait donc forcément par panneaux, ce qui peut avoir des inconvénients. D'autre part, en ce qui concerne la pose des aiguilles, les dispositions commandées par l'échappement Kummer sont plutôt défavorables. Le barragiste met les aiguilles en place à la main, alors que la poignée de ces engins doit se trouver à un niveau inférieur à celui de la passerelle sur laquelle il circule, c'est-à-dire au-dessous de ses pieds. Cette manœuvre est excessivement gênante ; elle n'est pas impossible, puisqu'elle se pratique couramment, mais elle exige des hommes de choix et rompus au métier.

39. Aiguilles à crochet de M. Guillemain. — Une solution complète et des plus heureuses des difficultés auxquelles peut donner lieu la manœuvre des aiguilles est due à M. l'inspecteur général Guillemain. Elle a été appliquée pour la première fois au barrage de Roanne, sur la Loire, et depuis à un très grand nombre d'ouvrages. Grâce à l'ingénieux dispositif imaginé par M. Guillemain, on peut manœuvrer sans aucune peine des aiguilles dont les dimensions auraient paru autrefois inadmissibles. C'est ainsi, par exemple, qu'on trouve, sur les barrages de la Marne, des aiguilles qui mesurent 5 m. 10 de longueur (4 m. 40 entre le seuil et la barre d'appui) avec $\frac{0 \text{ m. } 125}{0 \text{ m. } 125}$ d'équarrissage, et pèsent 45 kilogrammes. Nous emprunterons la description du système à la note¹ dans laquelle M. l'Ingénieur en chef Lavollée a rendu compte de l'application qui en a été faite au déversoir du barrage de Port-à-l'Anglais sur la Haute-Seine.

Chaque aiguille est munie d'un crochet en fer (fig. 24), fixé au niveau de la barre d'appui à laquelle on donne, pour sa nouvelle destination, une section circulaire. Le crochet embrasse cette barre et y trouve un point d'appui autour duquel

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1881, 2^e semestre, p. 220.

l'aiguille peut pivoter comme sur un axe horizontal. La tête du crochet, repliée à angle droit, permet d'exercer un effort de bas en haut, pour soulever l'aiguille.

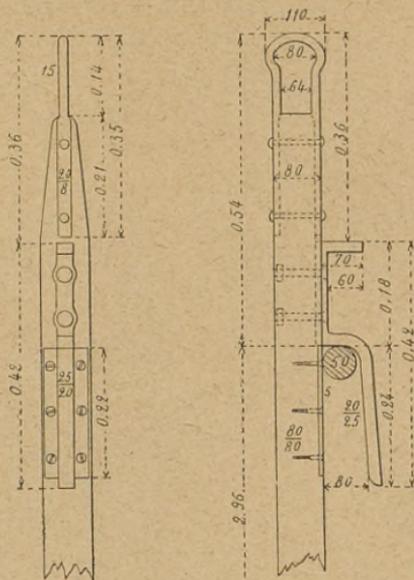


Fig. 24

Lorsque le barragiste veut en poser une, il la place horizontalement sur la passerelle, dans le sens de la rivière, et il la pousse vers l'amont jusqu'à ce que le fond du crochet s'appuie sur la barre ; puis il la redresse par la poignée, de façon que le courant saisisse la partie immergée et la chasse vers l'aval (Pl. VII, page 58, fig. 4). L'aiguille vient alors s'appliquer d'elle-même sur le seuil, sans que l'ouvrier qui la guide ait à vaincre d'effort ou soit exposé au moindre danger. L'aiguille heurte, il est vrai, le seuil avec une certaine violence ; mais le choc est amorti et devient sans inconvénient, si l'on a soin de placer le crochet à une distance¹ telle du pied de l'aiguille que cette extrémité puisse frotter légèrement sur le radier et ralentir ainsi la vitesse avant l'arrêt complet.

1. Il suffit que cette distance soit supérieure de un ou deux centimètres à celle qui serait strictement nécessaire.

FIG. 3. CHARIOT DE MANŒUVRE.

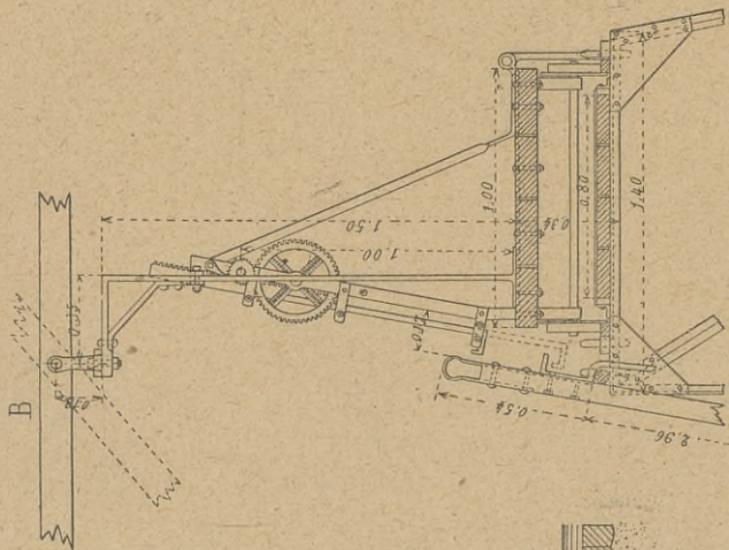


FIG. 1. MISE EN PLACE D'UNE AIGUILLE.

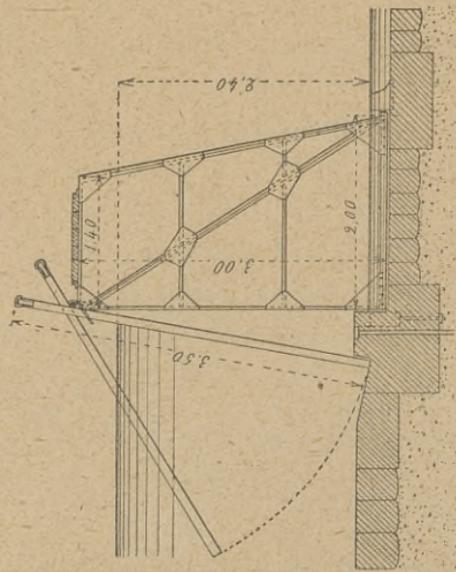
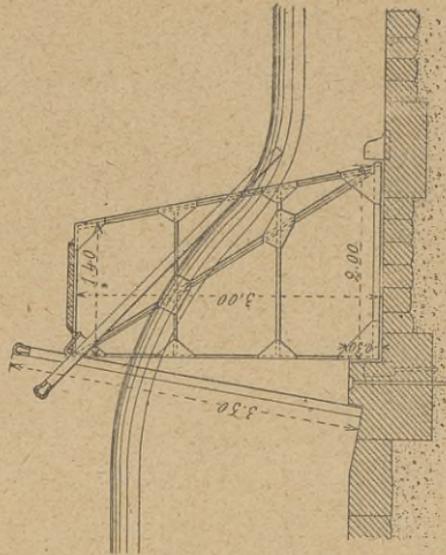


FIG. 2. AIGUILLE FLOTTANT LIBREMENT.



La manœuvre d'enlèvement est encore plus facile. Par un moyen mécanique quelconque, levier ou crémaillère exerçant son action sur la tête du crochet, l'aiguille est soulevée jusqu'à ce qu'elle s'échappe du seuil, tout en restant retenue par la barre d'appui. Elle se met à flotter librement dans le courant (Pl. VII, fig. 2), où elle ne gêne plus l'écoulement de l'eau, et où, dans la plupart des cas, elle peut demeurer un certain temps sans qu'il y ait urgence à la retirer complètement.

Pour exécuter toutes les opérations que comporte l'enlèvement des aiguilles à crochet, on emploie, à Port-à-l'Anglais, un chariot très léger roulant sur une petite voie de fer (Pl. VII, fig. 3); il porte une crémaillère, à l'inclinaison des aiguilles, terminée à son extrémité inférieure par un taquet et mise en mouvement par deux roues d'engrenage ordinaires. Le barragiste pousse le chariot devant lui et cueille çà et là autant d'aiguilles qu'il le désire. Il peut, en se pressant, lâcher 40 aiguilles en cinq minutes. Afin d'enlever complètement les aiguilles flottantes, le chariot porte une potence terminée par un collier formant pivot pour un balancier mobile en bois B, dont chaque extrémité est munie d'une chaîne ou d'une corde. On attache la tête de l'aiguille à une des chaînes; on tire sur l'autre; l'aiguille est élevée verticalement et elle est saisie sans peine par un homme qui se tient sur la passerelle¹.

Toutes ces manœuvres sont d'une extrême facilité.

C'est toujours par la même face que l'aiguille à crochet porte, en haut sur la barre d'appui, en bas sur le seuil. L'usure au contact de la barre d'appui est évitée par l'emploi d'une petite platine métallique fixée sur le bois par des vis (fig. 24). Aux barrages de la Marne, sur toute la hauteur du seuil, la face postérieure de l'aiguille affecte la forme d'un demi-cylindre qui s'emboîte exactement dans les can-

1. Bien souvent les barragistes se servent d'un simple morceau de bois, comme levier, pour soulever les aiguilles; et une fois qu'elles sont flottantes, ils les retirent à la main.

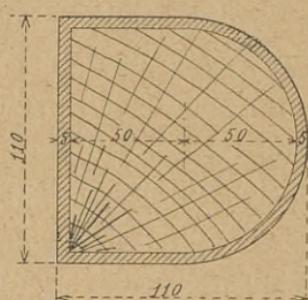


Fig. 25

lures d'une pièce de fonte formant seuil ou revêtement du seuil; sur cette même hauteur, l'aiguille est d'ailleurs consolidée par une frette en fer (fig. 25). Chaque aiguille ayant sa place fixée à l'avance, il est facile d'obtenir un rideau plus serré, parlant plus étanche.

40. Possibilité d'augmenter encore les dimensions des aiguilles. — Il n'est pas douteux qu'on puisse, en appliquant à leur manœuvre des engins mécaniques puissants, employer des aiguilles de dimensions très supérieures à celles qui ont été citées plus haut¹. Voici qui confirme cette manière de voir.

On a récemment construit aux Etats-Unis, sur le Big Sandy, à 40 kilomètres environ en amont de son confluent avec l'Ohio, un barrage mobile du système Poirée où les aiguilles de la passe navigable mesurent 4 m. 34 de longueur, 0 m. 305 de largeur et 0 m. 115 d'épaisseur moyenne; leur poids est d'environ 120 kilogrammes. La mise en place se fait au moyen d'une grue à vapeur; l'enlèvement avec un treuil à vapeur, autour duquel s'enroule une corde qui réunit toutes les aiguilles².

41. Etanchement des aiguilles. — Au fur et à mesure que les aiguilles sont de plus fort équarrissage, partant plus rigides, les joints sont moins nombreux et aussi plus étroits³,

1. Des aiguilles de 4 et 5 mètres de longueur, de 0 m. 20 de largeur, de 0 m. 11 et même de 0 m. 12 d'épaisseur, ont été expérimentées à Port à l'Anglais et aux barrages de la Marne.

2. Le barrage du Big Sandy est décrit en détail dans le *Génie civil*, t. XXXIII, n° 2, p. 21.

3. En vue de réduire la largeur des joints, on emploie au barrage de Decize, sur la Loire, des aiguilles dont la section affecte la forme d'un parallélogramme. La pression de l'eau sur la face latérale exposée au courant tend à serrer chaque aiguille contre la précédente.

l'étanchéité du rideau est plus grande ; cependant, en cas de pénurie d'eau, il peut être nécessaire de recourir à des moyens d'étanchement particuliers.

Nous ne citerons que pour le déconseiller l'emploi du foin ou des herbes aquatiques. Ces végétaux, accumulés à l'amont du barrage, s'opposent assurément au passage de l'eau entre les joints des aiguilles, mais ils ont l'inconvénient d'offrir un aspect peu agréable à l'œil et ils peuvent être gênants au moment du débouchage.

Bien autrement satisfaisant est le résultat obtenu par l'emploi du sable tout venant, pratiqué sur l'Yonne depuis extrêmement longtemps, ou par l'emploi des escarbilles que recommande M. l'Ingénieur en chef Henri Tavernier¹. Parmi les particules entraînées par l'eau à travers un joint, il s'en trouve toujours quelques-unes qui, à raison de leurs dimensions, se coincent entre les deux aiguilles et s'arrêtent. Leur arrêt facilite et provoque celui de particules plus nombreuses, et au bout de peu de temps chaque joint se trouve hermétiquement bouché, l'étanchement est complet.

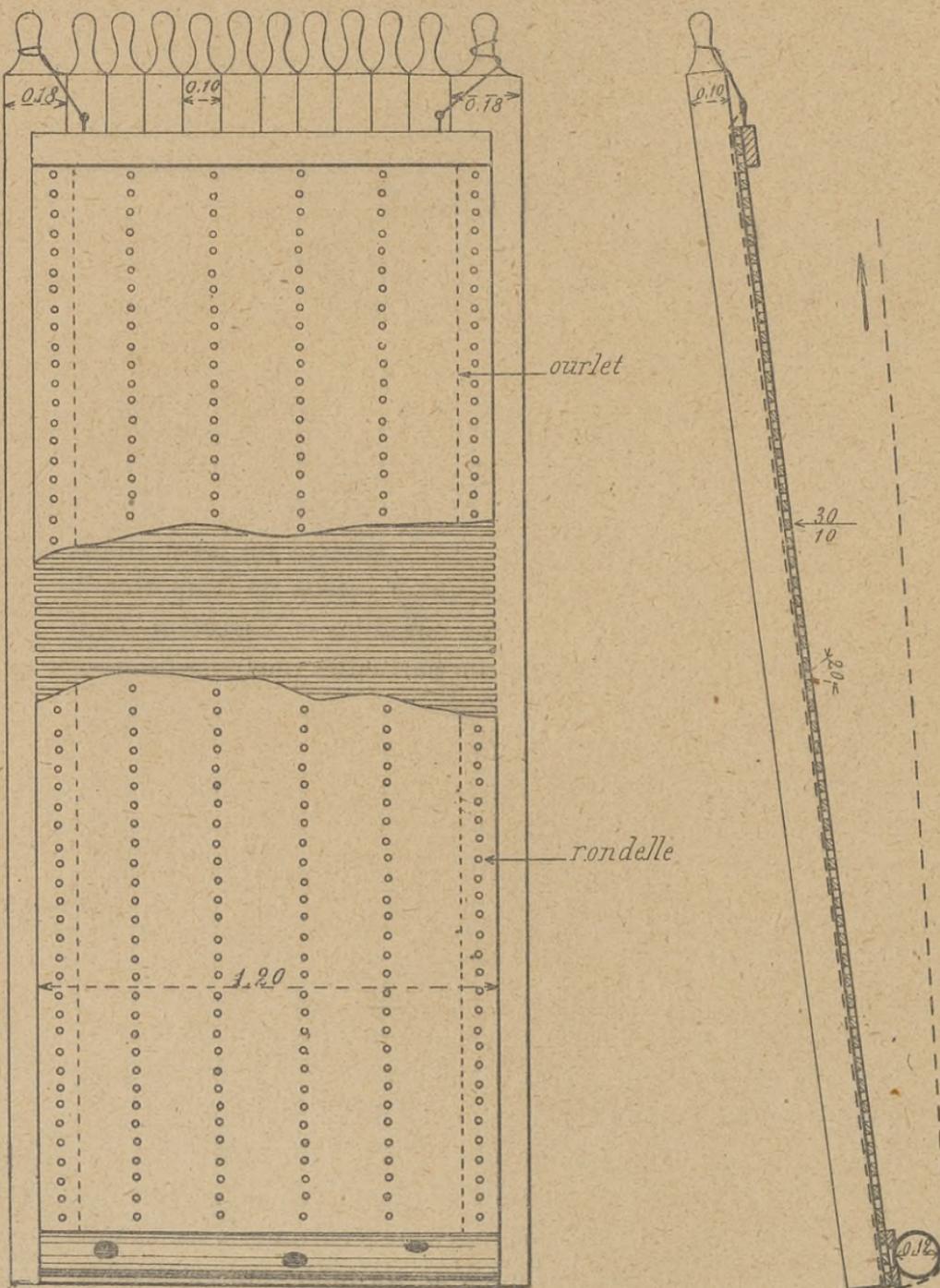
On utilise encore des bâches, en toile imperméable ou non, que l'on étend sur la face amont des aiguilles et qui s'opposent au passage de l'eau par les joints. Ce moyen est efficace, mais très coûteux, non pas tant par le prix d'achat de la toile que par son peu de durée. Cette toile, en effet, au moment où le barrage est en pleine charge, s'introduit dans les joints, s'y incruste, pour ainsi dire, et se déchire lorsque l'on veut la retirer. Elle est d'ailleurs assez difficile à poser et à enlever pour qu'on hésite à l'employer d'une manière courante.

On évite ces divers inconvénients de la toile en fixant sur sa face aval des liteaux en bois de petites dimensions, juxtaposés horizontalement et susceptibles de s'enrouler avec la toile qui les réunit. On constitue ainsi de véritables stores, semblables de tout point à ceux dont sont fréquemment garnies les

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1895, 2^e semestre, p. 364.

VUE D'AMONT

VUE DE COTÉ



Pl. VIII. STORE D'ÉTANCHEMENT

fenêtres des maisons, se roulant et se déroulant comme eux au moyen de cordes ou de chaînettes. Ces stores sont assez légers pour être transportés à bras ; ils ne sont mis en place que lorsque la baisse des eaux en fait une nécessité.

La planche VIII montre, vu d'amont et de côté, un store employé au barrage de Joinville, sur la Marne. Il est formé d'une toile goudronnée sur laquelle sont fixés, au moyen de clous ordinaires, des liteaux de 0 m. 03 de largeur, de 0 m. 01 d'épaisseur, distants de 0 m. 02 l'un de l'autre. Une rondelle de tôle galvanisée est placée entre la tête de chaque clou et la toile pour éviter toute déchirure ; le clou est rivé sur le liteau.

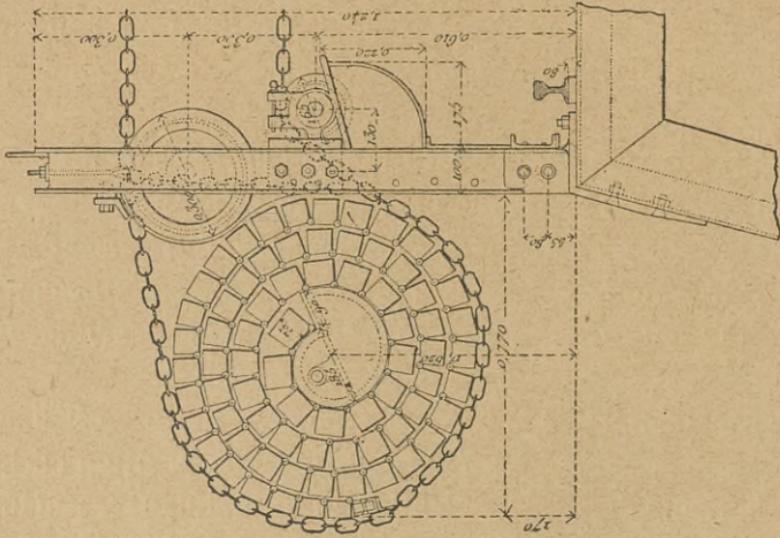
Par sa partie supérieure, le store est fixé à une traverse horizontale en bois munie près de chaque extrémité d'un piton. Des chaînettes prises sur ces pitons permettent d'attacher la traverse et par conséquent le store aux têtes des aiguilles.

A la partie inférieure du store est attaché, au moyen de deux tasseaux en bois de chêne de 0 m. 04 de largeur et de 0 m. 02 d'épaisseur, un cylindre en tôle de 15 millimètres, de 0 m. 12 de diamètre. Entièrement ouvert à ses deux extrémités, ce cylindre est en outre percé de trous de manière à laisser toute liberté de passage à l'eau. Par cet artifice on évite toute pression sur le cylindre, lequel agit alors par son poids pour tendre le store.

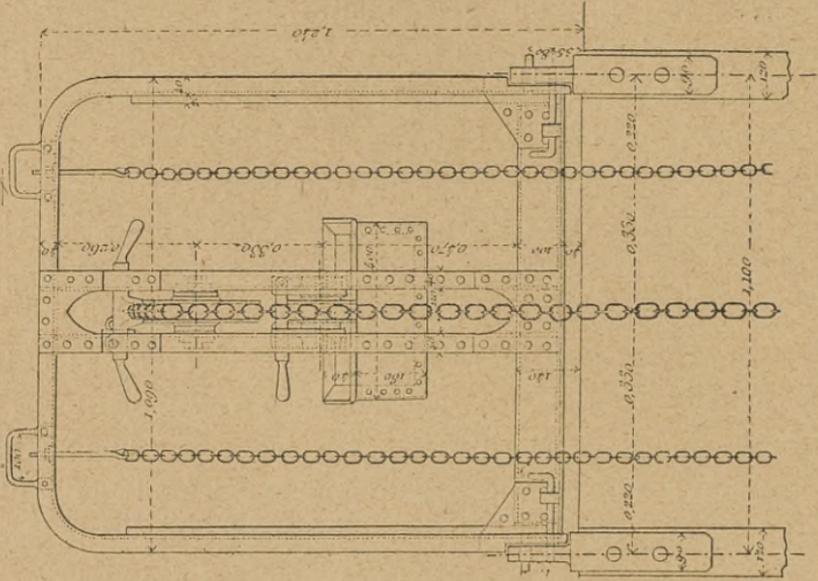
La largeur des stores est variable ; elle est suivant les cas de 1 m. 20, 1 m. 40 et 1 m. 60. Chaque store se manœuvre au moyen de deux chaînettes d'enroulement. Ces dernières sont prises sur les mêmes pitons que les chaînettes d'attache, descendent le long de la face aval, contournent le cylindre terminal et remontent le long de la face amont.

Il est essentiel que la traverse à laquelle le store est fixé par sa partie supérieure soit amarrée dans une position parfaitement horizontale. Il est essentiel aussi que dans les manœuvres pour remonter le store, le barragiste conduise bien également les deux chaînettes d'enroulement, soit qu'il les laisse filer, soit qu'il les tire à lui. Il convient également de placer

VUE DE COTÉ (RIDEAU ENROULÉ).



VUE DE FACE (RIDEAU DÉROULÉ).



PL. IX. RIDEAU ARTICULE ET CHASSIS PORTE-RIDEAU

à la jonction de deux stores consécutifs une aiguille de largeur exceptionnelle, de telle sorte que les abouts des deux stores, entre lesquels un certain jeu doit être nécessairement ménagé, se trouvent cependant bien appuyés sur cette aiguille.

42. Rideaux articulés de M. Caméré. — Aux liteaux et à la toile, éléments constitutifs des stores d'étanchement précédemment décrits, substituons :

1^o des lames de bois jointives, ayant une longueur très peu inférieure à l'écartement des fermettes et des dimensions transversales en rapport avec la pression de l'eau ;

2^o deux files continues de charnières placées sur la face amont des lames de bois et les reliant l'une à l'autre ; nous aurons les *Rideaux articulés* imaginés par M. l'inspecteur général Caméré, appliqués d'abord au barrage de Port-Villez, sur la Basse-Seine, et ensuite à nombre d'ouvrages, non plus pour étancher les aiguilles, mais pour les remplacer entièrement (voir la planche IX où est figuré, vu de côté, un rideau articulé).

Les lames ont été faites d'abord en bois de sapin du nord ; actuellement on a recours au bois de *yellow-pine*, qui offre à poids égal plus de résistance. Elles ont, suivant l'espace-ment des fermettes, une longueur de 4 m. 28 ou de 4 m. 09, une hauteur constante de 0 m. 058 et une épaisseur variant d'une manière continue depuis celle de 0 m. 04 que présente la lame supérieure jusqu'à celle de 0 m. 075 adoptée pour la lame inférieure.

La lame inférieure du rideau est fixée par une articulation renforcée sur une pièce de fonte, de construction spéciale, qui s'appuie sur le radier du barrage lorsque le rideau est déroulé et forme le noyau d'enroulement du rideau lorsqu'on l'enroule ; le poids de cette pièce fait plonger le rideau quand on le déroule.

Les files de charnières constituent en quelque sorte des chaînes articulées qui soutiennent tout l'effort de traction

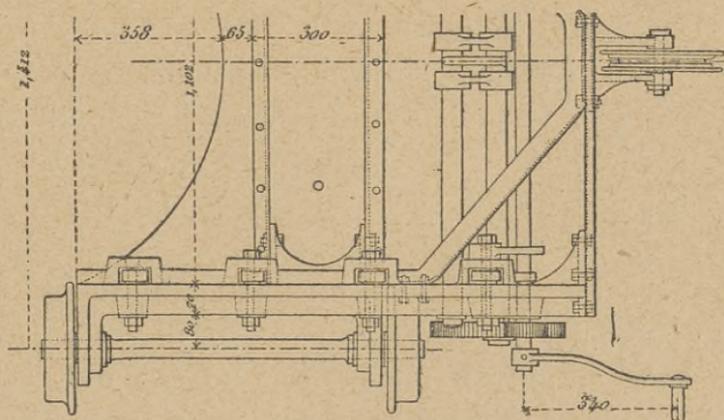
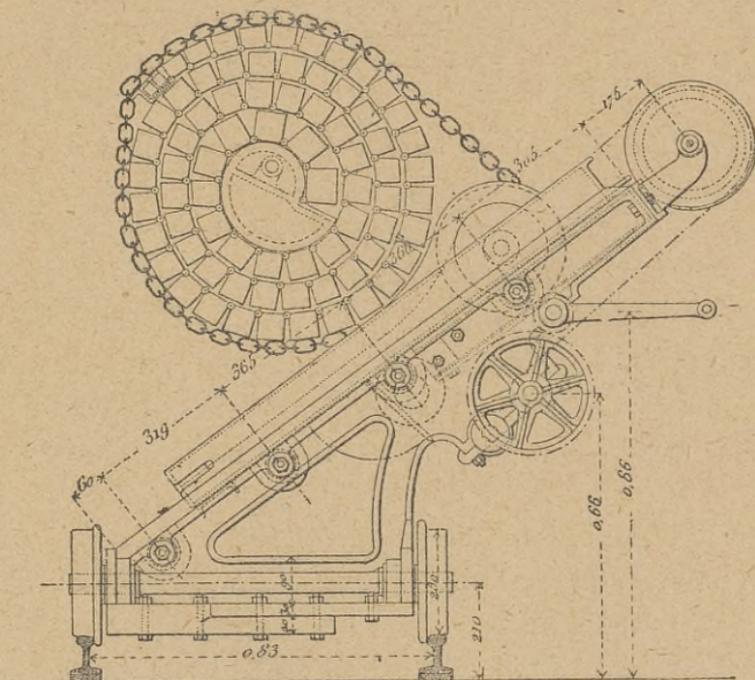
exercé sur le rideau pendant l'enroulement ; les charnières sont construites en bronze ordinaire ; leurs goupilles sont en acier recouvert d'une chemise de laiton.

Le rideau porte par ses extrémités sur deux fermettes consécutives, dont le montant d'amont, divisé en deux par une nervure médiane, se trouve ainsi disposé de manière à fournir des appuis bien distincts aux abouts de deux rideaux contigus. Les lames superposées appuyées par les extrémités contre les fermettes constituent, en réalité, un véritable barrage à poutrelles, qui se manœuvre d'une manière continue mais non sans une certaine complication.

Pour dérouler complètement un rideau, malgré la pression de l'eau, sans que ses abouts quittent les surfaces d'appui très étroites que leur offrent les montants d'amont des fermettes, il faut, tout d'abord, que le mouvement initial soit bien exactement dirigé. A cet effet, chaque rideau se double d'un châssis porte-rideaux (pl. IX, page 64), cadre en fer à la traverse supérieure duquel il est suspendu au moyen de chaînes terminées par des tiges filetées munies d'écrous, de façon que la suspension puisse être réglée avec une précision absolue. Le châssis porte-rideaux se place, à articulation, sur les têtes de deux fermettes consécutives de telle sorte que ses montants soient en exacte correspondance avec les montants d'amont des dites fermettes ; il peut être maintenu verticalement dans cette position par des verrous, ou basculer autour de tourillons inférieurs et se dégager de l'articulation pour être déposé sur un chariot spécial. On conçoit, en effet, que l'ensemble du rideau et de son châssis porte-rideau atteint un poids tel que le transport et la mise en place exigent l'emploi d'engins mécaniques particuliers.

D'autre part, les manœuvres d'enroulement et de déroulement ne peuvent plus se faire à la main ; elles s'effectuent à l'aide d'un treuil spécial, par l'intermédiaire d'une chaîne sans fin qui fait aussi partie intégrante de l'ensemble du rideau et de son châssis.

ÉLÉVATION LATÉRALE (AVEC RIDEAU ET CHASSIS)



· DEMI-PLAN (RIDEAU ET CHASSIS ENLEVÉS)

Ce dernier porte, dans le plan vertical médian, deux poulies de renvoi à empreintes auxquelles s'adaptent les deux brins de la chaîne sans fin. Un coffre en tôle est d'ailleurs disposé de manière à recevoir la partie de cette chaîne qui peut rester libre.

Le treuil de manœuvre est installé sur un chariot roulant qu'on amène et qu'on fixe au droit et en arrière du rideau à manœuvrer ; il porte extérieurement, sur l'une des flasques de son bâtis, deux poulies à empreintes qui correspondent à celles du châssis et sur lesquelles peuvent s'adapter les deux brins de la boucle formée par la chaîne sans fin.

Les poulies sont calées sur des arbres actionnés par les roues d'engrenage du treuil ; la poulie inférieure peut être à volonté embrayée ou débrayée ; dans le premier cas, elle tourne en sens inverse de la poulie supérieure et la vitesse à la circonférence n'est qu'une fraction de la vitesse à la circonférence de la dite poulie supérieure.

Cela posé, pour produire l'enroulement, la poulie inférieure étant embrayée, la poulie supérieure exerce un effort de traction sur le brin de chaîne qu'elle porte et la poulie inférieure laisse filer le sien. En raison de la différence de vitesse des deux poulies il se produit, en définitive, un raccourcissement de la boucle embrassant le rideau et celui-ci s'enroule.

Pour le dérouler, la poulie inférieure est débrayée et le brin de chaîne qu'elle porte est calé sur la poulie de renvoi du châssis ; la poulie supérieure, tournant seule, laisse filer l'autre brin de chaîne ; la boucle embrassant le rideau s'allonge et celui-ci se déroule.

Nous avons dit plus haut que le transbordement des châssis avec leur rideau, s'opérait au moyen d'un chariot spécial. Ce chariot transbordeur (pl. X, page 67) comprend essentiellement une plate-forme inclinée, sur laquelle le châssis se couche, et un treuil à chaîne pour le déplacer le long de la dite plate-forme.

Construits avec tout le soin voulu, les rideaux donnent des résultats satisfaisants au point de vue de l'étanchéité ; il est

d'ailleurs toujours facile de donner aux lames une épaisseur¹ en rapport avec la pression qu'elles ont à supporter, de telle sorte que le travail du bois ne dépasse pas les limites habituelles.

Le réglage de la retenue s'opère en enroulant ou déroulant par le bas un certain nombre de rideaux ; on crée ainsi des courants de fond qui entraînent les dépôts et peuvent donner, à certains moments, passage aux poissons voyageurs. Cependant, en basse eaux, on peut éviter de manœuvrer les rideaux en disposant au-dessus, entre les fermettes, de petites vannettes de 0 m. 30 de hauteur qui se placent et s'enlèvent à la main et dont l'enlèvement provoque un déversement superficiel. Et même, avec les vannettes en place, le barrage tout entier peut fonctionner comme déversoir et se prêter en conséquence, sans aucune manœuvre, à l'écoulement des petites montées d'eau, ainsi qu'au passage des menus corps flottants. Il suffit pour cela que la passerelle de service soit placée à une hauteur assez grande, 0 m. 50 par exemple, au-dessus de la retenue.

Assurément, ce sont là de sérieux avantages, mais que sont devenues la simplicité, la rusticité de construction et de manœuvre des aiguilles ?

Chaque rideau se compose de plusieurs centaines de pièces² construites en matériaux de choix, dont l'assemblage exige la précision de l'horlogerie et dont l'entretien doit être confié à des ouvriers spéciaux. L'emploi de moyens mécaniques est indispensable tant pour le transport et la mise en place du rideau et du châssis auquel il est fixé que pour la manœuvre du rideau une fois mis en place. Chariot transbordeur et treuil spécial ont besoin, pour circuler, de voies solides établies sur les fermettes. Celles-ci, d'ailleurs, chargées de tout le poids de

1. Chaque lame pouvant être assimilée à une pièce horizontale uniformément chargée, soutenue par ses deux extrémités, le calcul de cette épaisseur est des plus simples.

2. Un rideau de la passe navigable du barrage de Suresnes ne comprend pas moins de 934 pièces.

la retenue, puisque les rideaux n'en reportent pas, comme les aiguilles, la majeure partie sur le radier, sont nécessairement plus fortes, plus larges, plus pesantes.

Malgré l'ingéniosité et la perfection des engins mécaniques employés, la manœuvre des rideaux ne laisse pas d'être délicate. Veut-on, par exemple, relever deux rideaux contigus ? L'intervalle qui les sépare étant fort petit, il est difficile d'empêcher qu'ils se rencontrent et par conséquent qu'ils se gênent dans la manœuvre d'enroulement. D'autre part, la chaîne sans fin produit l'enroulement au moyen d'un mouvement de friction sur les lames qui a pour effet de les user très rapidement, de les scier littéralement.

43. Vannes de M. Boulé. — Les vannes qui portent le nom de M. l'inspecteur général Boulé ont été appliquées par lui, comme mode de bouchure : 1^o au barrage de Port-à-l'Anglais ¹, sur la Haute-Seine, à titre d'essai ; 2^o au barrage de Suresnes ² sur la Basse-Seine. Ce sont des panneaux pleins, en bois, qui reposent les uns sur les autres dans le sens vertical, et latéralement, s'appuient sur deux fermettes voisines, comme les rideaux de M. Caméré.

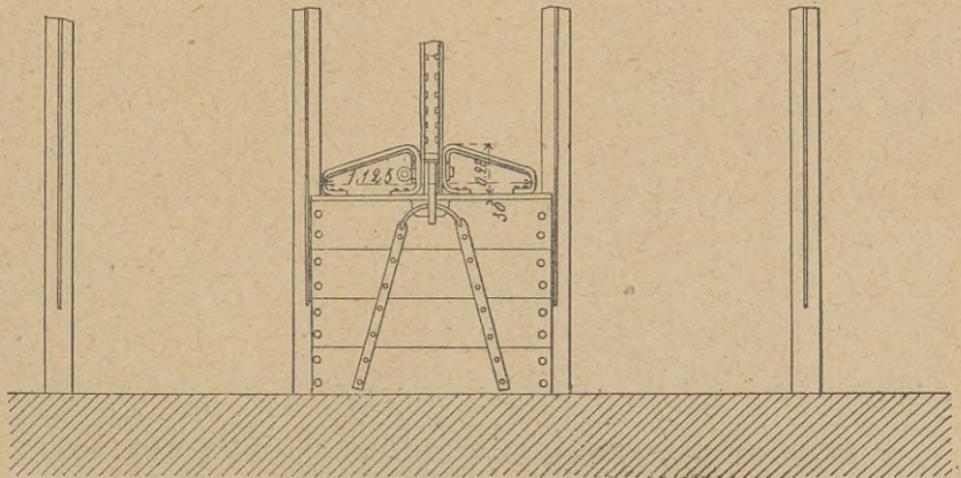
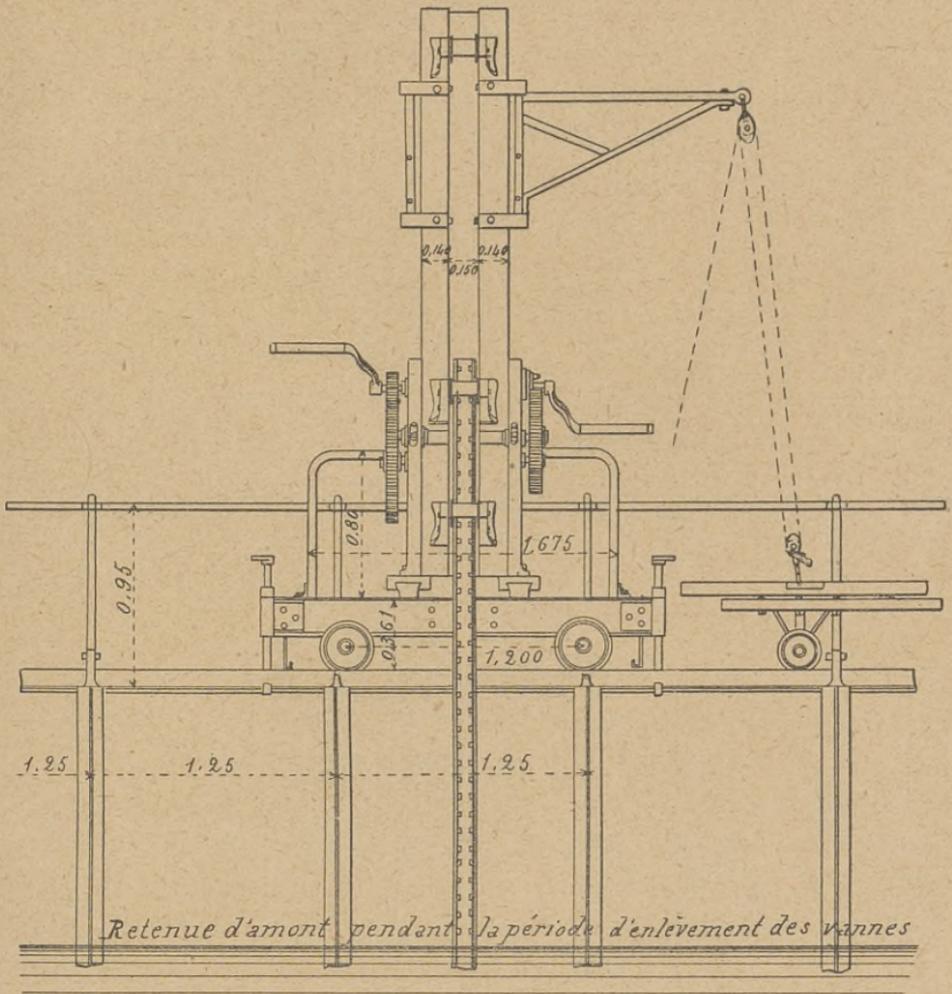
A Suresnes, les vannes ont 1 m. 22 de largeur pour 1 m. 10 de hauteur. Chacune d'elles se compose de quatre madriers de chêne, réunis par des ferrures, dont une, en forme de V, se termine par une poignée en fer rond de 0 m. 025 de diamètre. Une échancrure dans le madrier supérieur permet de saisir cette poignée avec un croc (pl. XI).

L'épaisseur des panneaux varie suivant la pression d'eau qu'ils ont à supporter. Dans la passe navigable du barrage de Suresnes, les vannes superposées sont au nombre de cinq, ayant respectivement, de bas en haut, 9, 8, 7, 6 et 4 centimètres d'épaisseur ; elles sont surmontées d'une vannette consistant en un simple madrier de même largeur, mais de 0 m. 30 seu-

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1876, 1^{er} semestre, page 320.

2. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1889, 2^e semestre, page 49.

VUE D'AMONT



lement de hauteur, avec 0 m. 03 d'épaisseur, qui se manœuvre aisément à la main.

Pour régler la retenue¹, on manœuvre d'abord les vannettes ; quand elles sont toutes enlevées, on *souffle*, pour employer l'expression dont se servent les barragistes, les vannes du rang supérieur. Souffler une vanne, c'est la soulever de façon qu'elle ne soit plus immergée que par sa partie inférieure et cela de telle sorte que l'action de son poids, qui tend à la faire descendre, soit exactement compensée par le frottement contre les montants des fermettes, qui tend à la maintenir en place (fig. 26). Il résulte même de ce soufflage une sorte de

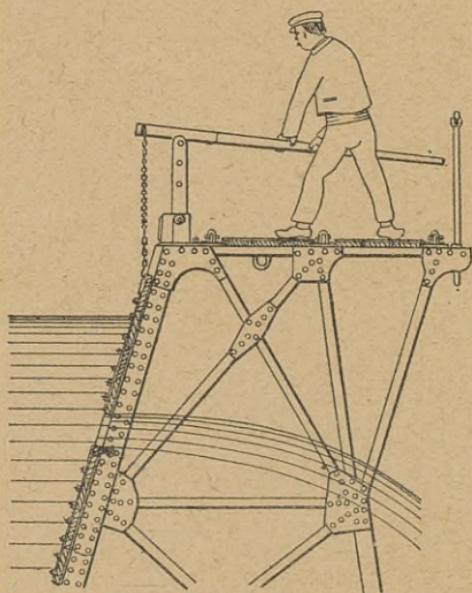


Fig. 26

réglage automatique. Si le niveau de l'eau s'élève, le débit de l'orifice compris entre la vanne soufflée et celle du deuxième rang augmente ; s'il s'abaisse, la vanne n'est plus maintenue par la pression de l'eau, elle redescend et ferme en partie l'orifice. Rien qu'en soufflant de cette manière le premier rang

1. Au barrage de Suresnes, la retenue doit être réglée avec une précision toute particulière. C'est, en effet, cet ouvrage qui commande le bief de Paris.

de vannes, on règle l'ouverture du barrage de Suresnes en raison des variations de débit du fleuve, pendant toute la saison d'été.

Si le soufflage ne suffit plus, on enlève complètement les vannes du rang supérieur. Ensuite on enlève une à une les vannes du deuxième rang. On procède de même, sur le troisième, le quatrième et le cinquième rang, et on conduit ainsi le débouchage successivement par tranches horizontales en commençant par le dessus. Pour le bouchage, on effectue les opérations en sens inverse.

Pour retirer les vannes du premier rang et en général toutes les vannes amenées à la partie supérieure des fermettes, on se contente d'une petite grue roulante de la force de 300 kilogrammes, légère et facilement maniable ; on soulève les vannes avec cette grue et on les empile les unes sur les autres sur un chariot roulant qu'on va décharger quand il est complet.

Pour sortir de l'eau les vannes du deuxième rang et celles des rangs inférieurs, on se sert d'un treuil spécial dit *treuil mouton* (pl. XI, page 71), porté par une plate-forme roulante et composé :

1^o D'une traverse horizontale qui peut glisser entre les nervures médianes des montants d'amont de deux fermettes consécutives et s'appuyer sur la partie supérieure des vannes. Elle est armée, en son milieu, d'un crochet qui saisit la poignée de la vanne que l'on veut remonter et qui, au contraire, est maintenue par une chaînette à distance de cette poignée lorsqu'on veut faire descendre la vanne. Ce crochet offre une certaine analogie avec celui auquel est suspendu le mouton d'une sonnette à dé clic ; de là le nom de treuil-mouton donné à l'engin ;

2^o D'une longue crémaillère à fuseaux, à l'inclinaison des vannes, sur laquelle la traverse est emmanchée et qui commande les mouvements de cette dernière ;

3^o D'un treuil qui actionne la crémaillère.

Le débouchage par tranches horizontales successives n'a

pas seulement pour effet de rendre cette opération beaucoup plus facile ; il en résulte encore que les émissions d'eau se font toujours par déversement superficiel, c'est-à-dire de la manière la moins préjudiciable aux radiers, le choc de la lame déversante se trouvant amorti par la couche d'eau plus ou moins épaisse qui recouvre ces parties de l'ouvrage.

Les vannes sont d'une construction simple, rustique même et économique ; elles sont d'une étanchéité parfaite¹ ; et il est toujours facile, en augmentant leur épaisseur², de leur donner une résistance en rapport avec les efforts qu'elles peuvent avoir à supporter. Leur manœuvre est très simple et très sûre ; toutefois elle exige, comme celle des rideaux, des engins mécaniques spéciaux et des voies de service solides. Les vannes reportent également toute la charge de l'eau sur les fermettes.

44. Vannettes à galets avec roulement sur billes. —

Le fait que la manœuvre des vannes Boulé exige l'emploi d'engins mécaniques et l'intervention de plusieurs hommes constitue, dans certains cas, un sérieux inconvénient.

MM. Lavollée et Wender ont trouvé le moyen de faire disparaître cet inconvénient ; ils ont imaginé, et expérimenté d'abord au barrage de Marolles, sur la Petite Seine³, un système de vannes qui peuvent être facilement manœuvrées à la main par un seul homme⁴. Pour arriver à ce résultat, on a diminué notablement leur hauteur, mais surtout on a substitué le frottement de roulement au frottement de glissement sur le montant d'amont des fermettes ; le frottement de roule-

1. L'étanchéité absolue des joints entre deux madriers s'obtient au moyen d'un assemblage à rainures et languette, cette dernière constituée par une bande de tôle.

2. Comme pour les lames des rideaux articulés, le calcul de cette épaisseur est des plus simples, chaque élément pouvant être assimilé à une pièce horizontale uniformément chargée, soutenue à ses deux extrémités.

3. On appelle ainsi la Seine en amont de Montereau.

4. Voir la note de M. Wender insérée dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, 1896, 1^{er} semestre, page 516.

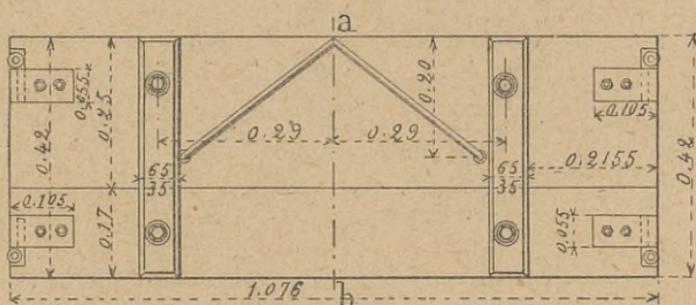
ment a, en outre, été réduit au minimum par l'emploi de galets roulant sur billes, suivant la disposition vulgarisée par les constructeurs de cycles.

La figure 27 montre une de ces *vannettes* en service au barrage de Saint-Mammès, sur le Loing¹. Elle mesure 0 m. 42 de hauteur, 1 m. 076 de longueur et 0 m. 045 d'épaisseur.

Coupe a b



Vue de face



Vue par dessus

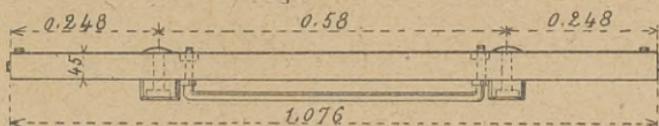


Fig. 27

Son poids ne dépasse pas 28 kilogrammes au maximum, au moment de l'émersion.

Indépendamment des galets de roulement proprement dits dont le plan est perpendiculaire à celui de la vannette, celle-ci porte au voisinage des angles d'autres galets dont le plan est parallèle à celui de la vannette et qui roulent, en tant que de besoin, sur la nervure médiane des montants des fermettes. C'est seulement grâce à cet artifice qu'on a pu réduire la hauteur des vannes sans avoir à craindre les coincements. La figure 28 d'autre part, qui donne les dessins de détail de l'angle

1. Voir la publication intitulée : *Exposition universelle de 1900. Ministère des travaux publics. Ponts et Chaussées. Notices sur les modèles, dessins et documents divers*, page 33.

d'une vannette, fait bien comprendre comment sont disposés et fonctionnent ces galets.

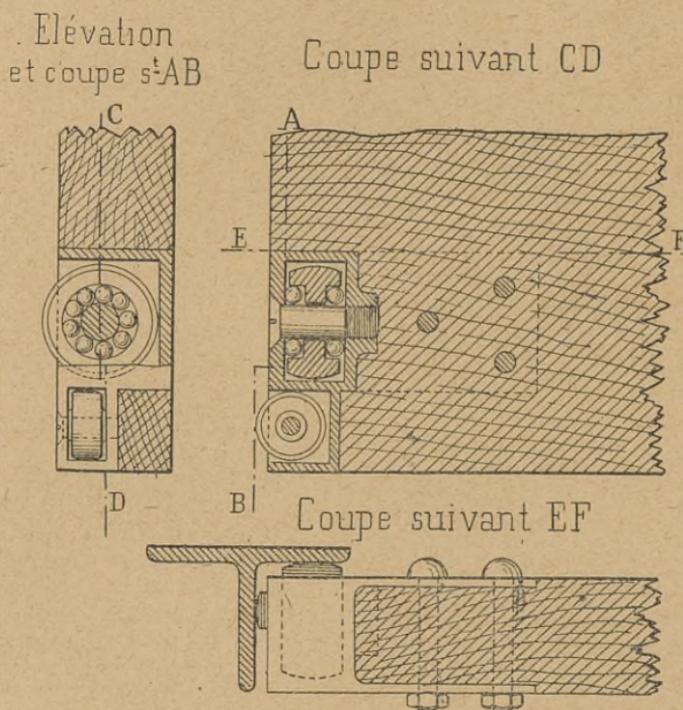


Fig. 28

Pour la mise en place, il suffit de présenter la vanne entre les fermettes en posant les galets sur leur chemin de roulement et de l'abandonner à elle-même. Pour l'enlèvement, le barragiste gaffe la vanne à retirer au moyen d'un petit grappin ou crochet à quatre branches ; grâce à la forme spéciale de la poignée boulonnée sur la vanne, l'accrochage s'opère très aisément et sans la moindre hésitation ; l'effort nécessaire pour enlever la vanne n'excède pas les forces d'un ouvrier moyen.

Les vannettes à galets avec roulement sur billes sont en service à Marolles depuis 1895 et à Saint-Mammès depuis 1897 ; elles n'ont jamais cessé de donner toute satisfaction et l'expérience paraît aujourd'hui absolument concluante.

Dans ce même ordre d'idées de l'emploi, pour la bouchure des barrages à fermettes, de vannes facilement manœuvrables

à la main par un seul homme, nous croyons devoir signaler encore les essais faits sur la Meuse française et dont il a été rendu compte par M. l'Ingénieur Claise¹.

45. Résumé en ce qui concerne le mode de bouchure. — L'idée géniale de M. Poirée, nous l'avons déjà dit, consiste en ceci : aux piles en maçonnerie, aux appuis fixes que présentaient les anciens barrages, substituer des appuis métalliques mobiles qu'une manœuvre simple permet de faire disparaître ou de rétablir, à la demande du débit du cours d'eau. Sauf cette différence capitale, on peut relever entre les nouveaux et les anciens ouvrages des analogies saisissantes. Qu'est-ce qu'une travée d'un barrage Poirée, comprise entre deux fermettes, sinon un pertuis entre deux piles. Comment étaient bouchés les pertuis des anciens barrages ? Avec des vannes, des poutrelles ou des aiguilles. Comment sont bouchées les travées des barrages à fermettes mobiles ? Avec des aiguilles, avec des poutrelles (les rideaux Caméré ne sont autre chose que de petites poutrelles réunies par des charnières) ou avec des vannes. On retrouve identiquement les trois mêmes modes de bouchure.

Les aiguilles présentent sur les rideaux et sur les vannes un avantage dont l'importance ressortira plus nettement encore de l'étude détaillée des efforts auxquels les fermettes sont soumises, mais qui est dès maintenant évident. Les aiguilles reportent sur les parties fixes du barrage la plus grande partie de la pression que l'eau exerce sur la bouchure ; avec les aiguilles, les fermettes n'ont à supporter que la moindre partie de cette pression. Avec les rideaux et les vannes, elles en supportent la totalité. Toutes choses égales d'ailleurs, les

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1897, tome II, article intitulé : *Difficultés que l'on rencontre à maintenir la retenue réglementaire des barrages à aiguilles de la Meuse ardennaise et note sur un système de vannes étudié par M. Baudisson, conducteur principal des Ponts et Chaussées à Sedan.*

fermettes pour rideaux ou vannes doivent être plus fortes que les fermettes pour aiguilles. Il en résulte, non seulement dans l'établissement de ces fermettes mais encore dans l'établissement des autres parties du barrage, un notable accroissement de dépense, sans parler des manœuvres qui deviennent nécessairement plus difficiles et plus pénibles.

Les aiguilles sont l'engin simple et rustique par excellence, et, maintenant qu'on n'hésite plus à leur donner de forts équarissages, elles réalisent dans des limites très étendues les deux qualités essentielles d'un bon mode de bouchure, la résistance et l'étanchéité; cette dernière pouvant être accrue en tant que de besoin par l'emploi des artifices que nous avons indiqués plus haut.

Au point de vue de la manœuvre, elles présentent un inconvénient, c'est de ne pas former déversoir, mais en revanche elles ont le sérieux avantage de constituer un élément de bouchure pour ainsi dire infinitésimal, ce qui permet de régler les retenues avec une extrême précision. On peut même augmenter encore cette propriété précieuse en se bornant à écarter l'aiguille de la barre d'appui, au lieu de l'enlever complètement. L'aiguille ainsi repoussée est maintenue dans sa nouvelle position par une cale. C'est du moins ce qui se faisait anciennement; mais depuis quelques années, en Allemagne¹, on a régularisé et facilité cette manœuvre en interposant entre l'aiguille, qui dans ce cas ne peut être munie de crochet, et la barre d'appui à section circulaire, une pièce en col de cygne formant levier. La figure 29 montre les deux positions extrêmes du levier et fait bien comprendre son fonctionnement.

La conclusion logique de tout ce qui précède est que les aiguilles doivent être préférées tant que leur application est possible. C'est seulement dans le cas contraire qu'il y a lieu de poser la question entre les rideaux et les vannes; nous ne

1. Cette disposition est appliquée à 240 aiguilles sur six barrages de la Fulda, entre Cassel et Münden. Voir la note publiée par le *Genie civil* (tome XXXVIII, n° 4, page 63).

cacherons pas nos préférences pour ces dernières, dans le cas qui nous occupe, c'est-à-dire quand il s'agit de barrages à fermettes.

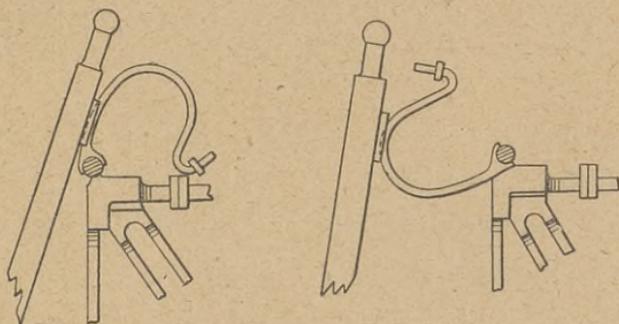


Fig. 29

Nous avons déjà fait ressortir leurs mérites en ce qui concerne la simplicité, l'économie ¹, la résistance et l'étanchéité. Elles ont, en outre, l'énorme avantage de fonctionner toujours par déversement, c'est-à-dire dans les conditions les plus favorables pour la conservation des ouvrages et la pratique de la navigation, tandis qu'à ce double point de vue, les violents courants de fond provoqués par l'enroulement des rideaux ne laissent pas d'avoir de sérieux inconvénients.

Voici d'ailleurs qui est particulièrement topique. Dans la passe navigable du barrage de Suresnes, les intervalles entre deux fermettes sont, à l'heure actuelle, alternativement bouchés au moyen de vannes et de rideaux. On ne touche plus aux rideaux que pour les dérouler ou les enrouler d'un seul coup, lorsque le barrage doit être complètement bouché ou débouché ; le réglage quotidien de la retenue se fait exclusivement au moyen des vannes.

1. Le poids total et le prix de revient de la bouchure d'une travée de la passe navigable du barrage de Suresnes sont :

Avec les vannes, 664 kilogrammes et 303 fr. 21 ;

Avec les rideaux, 714 kilogrammes et 691 fr. 17.

Annales des Ponts et Chaussées, 1889, 2^e semestre, page 49, notice de M. Luneau.

§ 3

FERMETTES ET ACCESSOIRES DES FERMETTES

46. Efforts exercés sur les fermettes quand la retenue est tendue. — Pour procéder à une étude rationnelle de la construction des fermettes, il est tout d'abord nécessaire de se rendre compte de la nature et de l'importance des efforts auxquels elles ont à résister.

Quand la retenue est tendue, la fermette, saisie par ses deux tourillons dans des crapaudines scellées au radier, est dans la position d'une pièce encastrée par sa base et chargée sur sa longueur d'une manière variable avec le mode de bouchure qui aura été adopté.

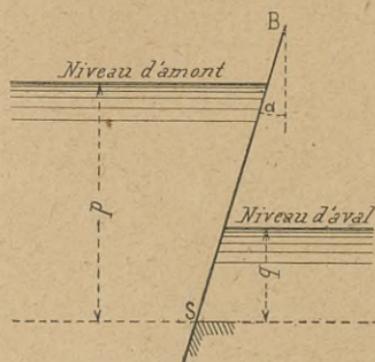


Fig. 30

Appelons p et q les hauteurs respectives au-dessus du seuil de l'eau à l'amont et à l'aval (fig. 30) et α l'angle fait par la bouchure avec la verticale ; la pression de l'eau par mètre courant, exprimée en tonnes de 1.000 kilogrammes, est :

à l'amont

$$\frac{p^2}{2 \cos \alpha} ;$$

à l'aval

$$\frac{q^2}{2 \cos \alpha} .$$

On a donc, pour la valeur de la pression totale résultante,

$$P = \frac{p^2 - q^2}{2 \cos \alpha} ;$$

et il résulte d'un calcul élémentaire que la distance du point d'application G de cette résultante à l'arête antérieure S du seuil

$$SG = \frac{p^2 + pq + q^2}{3(p + q) \cos \alpha}.$$

Dans le cas d'aiguilles appuyées par le pied contre le seuil, la force se répartit entre le seuil et la fermette ; dans le cas contraire (rideaux ou vannes) elle est entièrement supportée par la dite fermette.

47. Cas des aiguilles. — Soit φ la portion de la pression P qui s'exerce sur la fermette ; elle est normale à la direction SB des aiguilles et appliquée à la barre d'appui, au point B (Fig. 31, page 82). Là, elle peut être décomposée en deux autres dirigées vers les points d'appui A et E sur lesquels doit se reporter son action ; l'inspection de la figure fait voir qu'il y a traction suivant BA et compression suivant BE. Traction φ_A et compression φ_E se transmettent au radier par les tourillons et les crapaudines. Sur ces organes, chaque force peut, à son tour, se décomposer en deux, l'une horizontale, l'autre verticale ; les composantes horizontales s'ajoutent et tendent à faire glisser la fermette de l'amont vers l'aval, tandis que les composantes verticales sont de sens contraire, celle d'amont tend à arracher la pierre du seuil, celle d'aval à écraser le radier.

Quant à la portion P— φ de la pression P, reportée sur le seuil en S, elle est également normale à la direction des aiguilles et peut aussi se décomposer en deux, l'une horizontale qui tend à faire glisser le seuil vers l'aval, l'autre verticale qui s'oppose à son soulèvement.

1. Le moment de la force P par rapport à l'arête antérieure S du seuil s'obtient en prenant les moments des composantes ; il est égal à

$$\frac{p^2}{2 \cos \alpha} \times \frac{p}{3 \cos \alpha} - \frac{q^2}{2 \cos \alpha} \times \frac{q}{3 \cos \alpha} = \frac{p^3 - q^3}{6 \cos^2 \alpha}.$$

Pour avoir la distance SG, il suffit de diviser le moment calculé ci-dessus par la force P ;

$$SG = \frac{p^3 - q^3}{6 \cos^2 \alpha} : \frac{p^2 + q^2}{2 \cos \alpha} = \frac{p^3 - q^3}{3(p^2 + q^2) \cos \alpha} = \frac{p^2 + pq + q^2}{3(p + q) \cos \alpha}.$$

Si p , q et α conservent la même signification que ci-dessus; si, en outre, nous appelons :

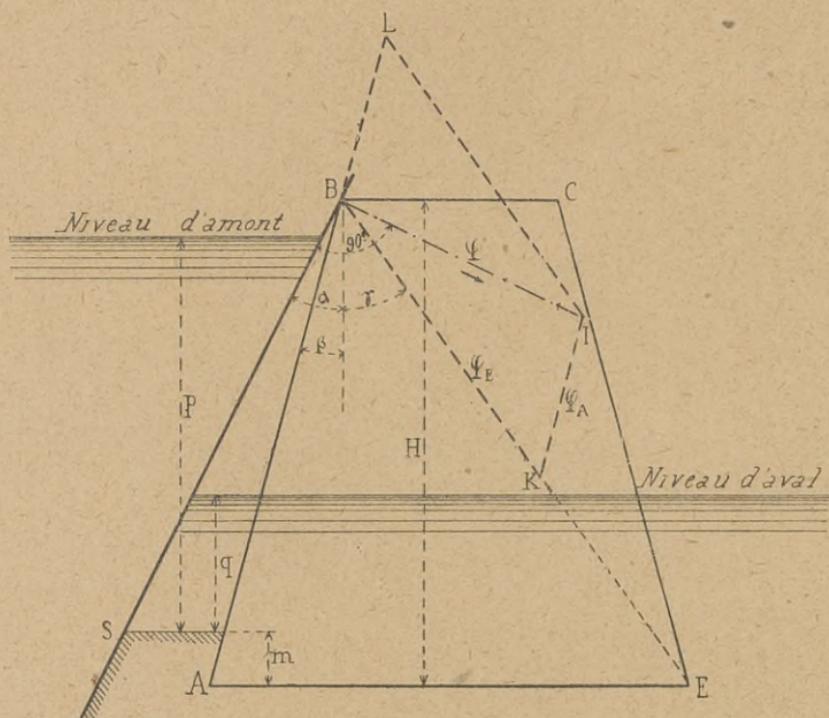


Fig. 31

H , la hauteur totale de la fermette, de l'axe des tourillons au-dessus de la traverse supérieure, avec lequel on admet que l'axe de la barre d'appui coïncide ;

m , la saillie du seuil au-dessus de l'axe des tourillons ;

β et γ les angles faits respectivement avec la verticale par le montant amont de la fermette, BA , et par la diagonale BE ;

e l'écartement de deux fermettes consécutives ;

$$\varphi^1 = \frac{e(p^3 - q^3)}{6(H - m)\cos\alpha},$$

1. Si on prend le moment de la force φ par rapport au point S , on a

$$\varphi \times BS = \varphi \frac{H - m}{\cos\alpha} = e \frac{p^3 - q^3}{6\cos^2\alpha},$$

d'où

$$\varphi = \frac{e(p^3 - q^3)}{6(H - m)\cos\alpha}.$$

$$\varphi_A^1 = \varphi \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{\sin(\beta + \gamma)}, \quad \varphi_E^1 = \varphi \frac{\cos(\alpha - \beta)}{\sin(\beta + \gamma)}.$$

La force horizontale qui tend à faire glisser la fermette est la somme des composantes horizontales de φ_A et de φ_E , ou encore la composante horizontale de φ , soit

$$\varphi_A \sin \beta + \varphi_E \sin \gamma = \varphi \cos \alpha = \frac{(p^3 - q^3)}{6(H - m)}.$$

La force verticale qui tend à arracher le seuil en A est la composante verticale de φ_A , soit

$$\varphi_A \cos \beta = \frac{e(p^3 - q^3)}{6(H - m) \cos \alpha} \times \frac{\cos(\alpha + \gamma) \cos \beta}{\sin(\beta + \gamma)}.$$

La force verticale qui tend à écraser la maçonnerie du radier en E est la composante verticale de φ_E , soit

$$\varphi_E \cos \gamma = \frac{e(p^3 - q^3)}{6(H - m) \cos \alpha} \times \frac{\cos(\alpha - \beta) \cos \gamma}{\sin(\beta + \gamma)}.$$

Quant aux deux composantes de la force appliquée en S qui tendent, l'une à faire glisser le seuil vers l'aval, l'autre à s'opposer à son arrachement, on les obtiendrait en multipliant respectivement par $\cos \alpha$ et $\sin \alpha$ la valeur, facile à calculer, de $P - \varphi$.

1. Entre les divers éléments du triangle BIK existe la relation

$$\frac{\varphi}{\sin \text{BKI}} = \frac{\varphi_A}{\sin \text{KBI}} = \frac{\varphi_E}{\sin \text{BIK}}.$$

Or :

$$\sin \text{BKI} = \sin \text{KBA} = \sin(\beta + \gamma);$$

$$\sin \text{KBI} = \sin(90^\circ - \text{KBS}) = \cos \text{KBS} = \cos(\alpha + \gamma);$$

$$\sin \text{BIK} = \sin \text{ABI} = \sin(90^\circ - \text{ABS}) = \cos \text{ABS} = \cos(\alpha - \beta).$$

On a donc

$$\frac{\varphi}{\sin(\beta + \gamma)} = \frac{\varphi_A}{\cos(\alpha + \gamma)} = \frac{\varphi_E}{\cos(\alpha - \beta)},$$

d'où on tire

$$\varphi_A = \frac{\varphi \cos(\alpha + \gamma)}{\sin(\beta + \gamma)}$$

et

$$\varphi_E = \frac{\varphi \cos(\alpha - \beta)}{\sin(\beta + \gamma)}.$$

48. Cas des rideaux articulés ou des vannes. — Dans ce cas (fig. 32), c'est la pression P tout entière qui s'exerce sur la fermette, normalement à la direction SB de la bouchure,

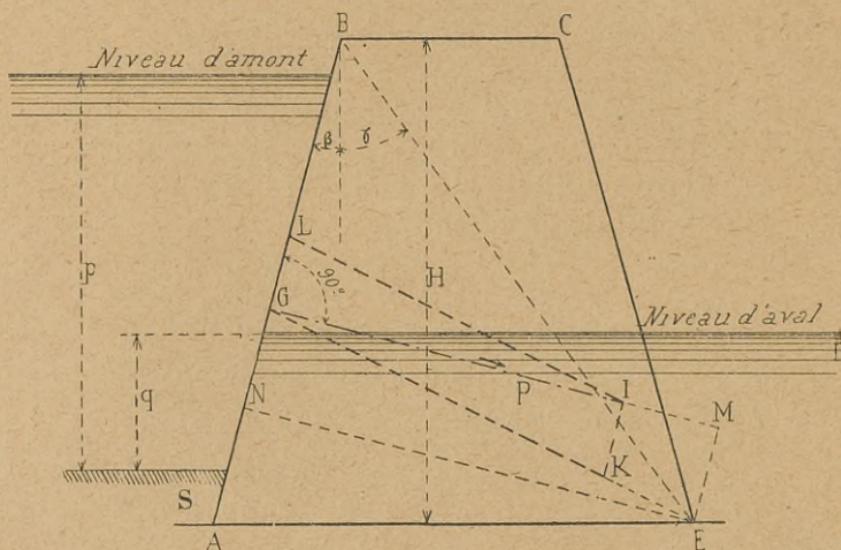


Fig. 32

en un point G dont la distance SG au seuil a été calculée plus haut ainsi que la valeur de la pression P . Les notations restent, en effet, les mêmes que précédemment. Seulement, ici, la bouchure étant appliquée sur le montant amont des fermettes, les deux angles α et β sont égaux ; on a donc

$$P = e \frac{p^2 - q^2}{2 \cos \beta} \quad \text{et} \quad SG = \frac{p^2 + pq + q^2}{3(p + q) \cos \beta}.$$

Si, comme nous l'avons fait dans le cas précédent, nous supposons que la force P , appliquée en G , est décomposée en deux autres dirigées vers les points d'appui A et E , nous verrons qu'il y a encore traction suivant GA et compression suivant GE , traction et compression se transmettant au radier par les tourillons et les crapaudines. Si sur ces organes chaque force est, à son tour, décomposée en deux, l'une verticale et l'autre horizontale, on voit que les composantes horizontales s'ajoutent pour faire glisser la fermette de l'amont vers l'aval

et que les composantes verticales tendent, l'une à arracher le seuil en A, l'autre à écraser le radier en E.

Il nous suffit de connaître la somme des composantes horizontales et les deux composantes verticales, ou les réactions du radier qui leur sont contraires et égales.

Comme nous l'avons déjà remarqué plus haut, la force totale qui tend à faire glisser la fermette de l'amont vers l'aval est égale à la projection horizontale de P, soit à

$$P \cos \beta = e \frac{p^2 - q^2}{2}$$

Quant aux composantes verticales tendant, l'une à arracher le seuil en A, l'autre à écraser le radier en E, leurs valeurs sont respectivement :

$$e \left(\frac{p^3 - q^3 + 3m(p^2 - q^2)}{6H(\tan \beta + \tan \gamma) \cos^2 \beta} - \frac{p^2 - q^2}{2} \tan \beta \right),$$

$$e \frac{p^3 - q^3 + 3m(p^2 - q^2)}{6H(\tan \beta + \tan \gamma) \cos^2 \beta}.$$

1. Pour avoir la composante verticale en E, ou la réaction verticale du radier en ce point, prenons les moments par rapport au point A, nous avons

$$x \times AE = P \times AG.$$

Or

$$\begin{aligned} P \times AG &= P \times (AS + SG) = P \left(\frac{m}{\cos \beta} + \frac{p^2 + pq + q^2}{3(p + q) \cos \beta} \right) \\ &= P \frac{p^2 + pq + q^2 + 3mp + 3mq}{3(p + q) \cos \beta} \\ &= e \frac{(p^2 - q^2)(p^3 + pq + q^2 + 3mp + 3mq)}{6(p + q) \cos^2 \beta} \\ &= e \frac{p^3 - q^3 + 3m(p^2 - q^2)}{6 \cos^2 \beta}; \end{aligned}$$

d'autre part

$$AE = H(\tan \beta + \tan \gamma);$$

la force verticale qui tend à écraser le radier en E est donc égale à

$$e \frac{p^3 - q^3 + 3m(p^2 - q^2)}{6H(\tan \beta + \tan \gamma) \cos^2 \beta}.$$

Pour avoir la force verticale qui tend à soulever le seuil en A, ou la réaction verticale du radier en ce point, menons EM et EN respectivement per-

49. Premières déductions. — Nous connaissons maintenant le point d'application, la direction, la grandeur des diverses forces qui sollicitent la fermette dans chaque cas ; cette dernière devant être assimilée à une console encastrée par sa base, il est aisé de déterminer les efforts qu'auront à supporter les divers éléments du système métallique. Notons seulement que dans le cas des aiguilles, le montant d'amont est sollicité par une force unique, appliquée à son extrémité supérieure, et ne travaille qu'à l'extension ; dans le cas des rideaux articulés ou des vannes, au contraire, il supporte sur toute sa longueur des pressions qui varient en chaque point, proportionnellement à la profondeur d'immersion.

Pour ce qui est du calcul des dimensions à donner aux divers éléments du système, c'est une question de résistance des matériaux sur laquelle nous n'insisterons pas ; mais nous devons ajouter quelques mots au sujet des efforts transmis au radier par les crapaudines.

Les efforts qui s'exercent sur la crapaudine d'aval et qui perpendiculaire et parallèle à P et prenons les moments par rapport au point E, nous avons

$$x \times EA = P \times EM = P (AG - AN) = P \times AG - P \times AN.$$

Le terme $P \times AG$ a été calculé ci-dessus ; il est égal à

$$e \frac{p^3 - q^3 + 3m(p^2 - q^2)}{6 \cos^2 \beta}.$$

D'autre part

$$P \times AN = P \times AE \sin \beta = e \frac{p^2 - q^2}{2 \cos \beta} H (\tan \beta + \tan \gamma) \sin \beta ;$$

la force verticale qui tend à soulever le radier en A est donc égale à

$$\begin{aligned} e \left(\frac{p^3 - q^3 + 3m(p^2 - q^2)}{6 H (\tan \beta + \tan \gamma) \cos^2 \beta} - \frac{p^2 - q^2}{2 H (\tan \beta + \tan \gamma) \cos \beta} \right) \\ = e \left(\frac{p^3 - q^3 + 3m(p^2 - q^2)}{6 H (\tan \beta + \tan \gamma) \cos^2 \beta} - \frac{(p^2 - q^2)}{2} \tan \beta \right). \end{aligned}$$

La différence entre les réactions verticales au point E et au point A, $\frac{p^2 - q^2}{2} \tan \beta$, est, ainsi qu'on devait s'y attendre, précisément égale à la composante verticale de la pression totale P.

tendent, d'une part à la faire glisser vers l'aval, d'autre part, à écraser la maçonnerie du radier, n'ont, en général, rien de préoccupant. Il suffira, le plus souvent, pour y résister, d'encastrement convenablement le patin de la crapaudine dans un sommier de pierre de taille de dimensions suffisantes noyé lui-même dans la maçonnerie du radier.

L'effort qui s'exerce sur la crapaudine d'amont et qui tend à l'arracher est au contraire très dangereux, et on ne saurait donner trop d'importance au mode d'attache de cette crapaudine au radier. C'est un point dont l'importance n'a peut-être pas été suffisamment aperçue lors de la construction des premiers barrages ; beaucoup d'accidents ont eu pour cause l'insuffisance du mode d'attache des crapaudines d'amont ou du seuil dans lequel elles étaient fixées. On doit également, dans la mesure du possible, s'appliquer à diminuer l'effort d'arrachement. On y parviendrait évidemment en donnant une plus grande base aux fermettes (en augmentant la distance entre les crapaudines d'amont et d'aval) et en augmentant l'angle que la bouchure fait avec la verticale ; mais des considérations d'un autre ordre ne permettent pas toujours d'user de l'un ou de l'autre de ces moyens. Si on augmente la base des fermettes, on les rend plus lourdes, plus coûteuses, moins maniables ; il en est de même de la bouchure, si on veut augmenter notablement l'angle qu'elle fait avec la verticale.

En tout cas, il était essentiel d'appeler l'attention sur ce point capital.

50. Simplifications. Exemple d'application numérique. — Les formules données plus haut ne laissent pas d'être passablement compliquées, mais généralement, dans la pratique, elles se simplifient notablement, ainsi qu'on en peut juger par l'exemple numérique suivant. Il s'agit de déterminer les efforts auxquels sont soumises les fermettes du pertuis de Port-à-l'Anglais dans le cas d'emploi de vannes Boulé comme bouchure.

Les fermettes en question ont leur montant d'amont vertical, elles sont espacées de 1 m. 10 d'axe en axe, l'axe de rotation (axe des tourillons) est à 0 m. 54 en contre-bas du dessus du seuil. Leurs dimensions (fig. 33) sont les suivantes :

Largeur au sommet, $BC = 1 \text{ m. } 45$;

— à la base, $AE = 3 \text{ m. } 10$;

Hauteur totale (longueur du montant d'amont), $AB = 5 \text{ m. } 24$.

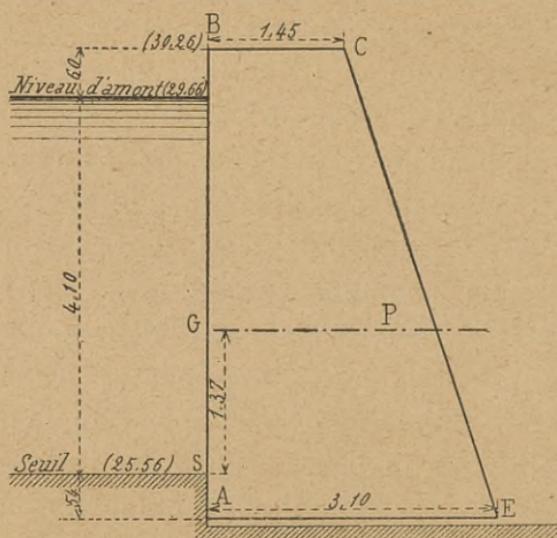


Fig. 33

Le niveau normal de la retenue d'amont est à 4 m. 10 au-dessus du seuil. Si, pour se placer dans l'hypothèse la plus défavorable, on suppose, ce qui ne se réalisera jamais, que l'eau, à l'aval, descende au niveau du seuil, la fermette a à supporter une charge d'eau de 4 m. 10.

Chaque fermette subit une poussée totale

$$P = 1.10 \times \frac{\overline{4.10^3}}{2} = 9 \text{ t. } 245,$$

dont le point d'application G est à une distance de l'axe de rotation

$$AG = GS + SA = \frac{1}{3} 4.10 + 0.54 = 1 \text{ m. } 91.$$

C'est cette force qui est directement appliquée au montant d'amont de la fermette et répartie sur sa longueur proportionnellement à la profondeur d'immersion.

La force horizontale qui tend à faire glisser la fermette de l'amont vers l'aval est ainsi égale à $P = 9 \text{ t. } 245$.

Pour avoir la réaction verticale du radier au point E (effort d'écrasement sur la crapaudine d'aval), il suffit de prendre les moments par rapport au point A, on a

$$R_E \times AE = P \times AG, \text{ c'est-à-dire } R_E \times 3,10 = 9,245 \times 1,91, \\ \text{d'où} \quad R_E = 5 \text{ t. } 696.$$

Pour avoir la réaction verticale du radier en A (effort d'arrachement de la crapaudine d'amont), on pourrait prendre les moments par rapport au point E, mais il y a lieu de remarquer que, dans l'espèce, la poussée P étant horizontale, les deux réactions verticales en E et en A sont égales.

On voit qu'un calcul très simple et très court a suffi pour déterminer les efforts en vue desquels les éléments de la fermette doivent être calculés.

51. Autres efforts auxquels les fermettes sont soumises. — Les efforts que nous venons de signaler et d'évaluer ne sont pas les seuls qu'ait à supporter une fermette ; il faut encore qu'elle offre une résistance suffisante, normalement au plan dans lequel agissent les forces que nous avons envisagées.

En effet, alors même que la fermette, debout, n'a à résister qu'à la charge de la retenue, elle doit satisfaire à la condition de ne pas se voiler. Si elle pouvait se déformer, les calculs que nous venons de développer seraient inapplicables et la résistance sur laquelle on compte disparaîtrait. Il faut donc, tout d'abord, que le bâti métallique ait une rigidité transversale suffisante pour ne pas se voiler.

En second lieu, pendant les manœuvres d'abatage et de relevage, chaque fermette, soutenue ou tirée par le haut et

fixée au radier par ses tourillons, est dans la position d'une pièce large et mince, appuyée par ses extrémités et sollicitée par son propre poids dans sa partie intermédiaire. D'autre part, les manœuvres de barrage ne sont pas toujours lentes et douces; il se présente souvent des obstacles qui obligent à les rendre énergiques; il s'en suit des efforts transversaux plus ou moins considérables sur la fermette, efforts qu'elle doit pouvoir supporter et qui exigent, comme la résistance au voilement, une certaine épaisseur des pièces dans le sens de la fatigue, c'est-à-dire dans un plan perpendiculaire au fil de l'eau.

Or les fermettes, ayant une hauteur très supérieure à leur écartement, se superposent nécessairement lorsqu'elles sont couchées, et cette superposition exige que leur épaisseur soit la moindre possible.

On se trouve donc placé en face de conditions contradictoires. Si on donne aux fermettes une grande épaisseur, on est obligé, ou d'exagérer la hauteur du seuil derrière lequel elles doivent s'effacer, ou de les espacer davantage, ce qui augmente la charge qu'elles ont à supporter et conduit à les faire plus fortes. Si on diminue cette épaisseur, il est à craindre qu'elles fléchissent, qu'elles se voilent, qu'elles se faussent et même se rompent.

Le calcul, qui est un moyen de vérification nécessaire, serait ici absolument insuffisant, et si on voulait s'en servir uniquement pour déterminer les dimensions des diverses pièces, on risquerait fort de ne faire que des fermettes bien médiocres; le sentiment du constructeur et les précédents ont ici une valeur prépondérante.

52. Spécimens de fermettes.— Nous avons réuni, dans les planches XII et XIII (pages 91 et 94), les dessins schématiques d'un certain nombre de fermettes, en ayant soin de les faire tous à la même échelle afin de rendre les comparaisons plus frappantes. Quelques explications très sommaires suffiront

FIG.1. EPINEAU. FIG.2. BGES DE LA MOSELLE. FIG. 3. ABLON.

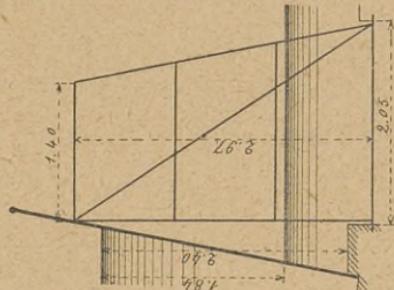
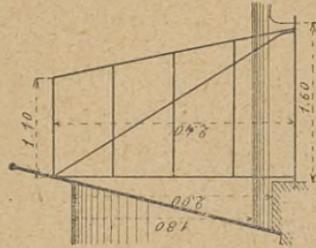
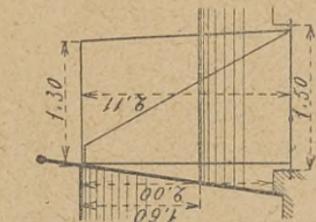


FIG. 4. MARTOT.

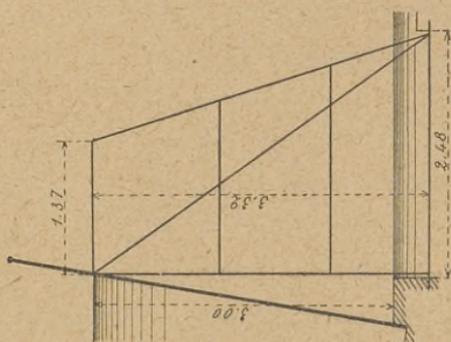
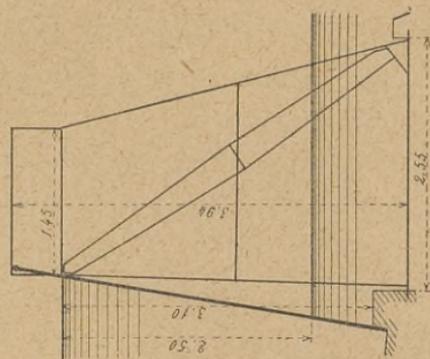


FIG.5. BGES DE LA MEUSE BELGE.



PL. XII. SPÉCIMENS DE FERMETTES

pour compléter les indications des figures. Disons de suite que les fermettes représentées dans la planche XII, ont toutes été construites pour soutenir des aiguilles.

Les fermettes du barrage d'*Epineau* construit en 1838¹ (Pl. XII. fig. 1), spécimen des fermettes primitives de M. Poirée, étaient de forme légèrement trapézoïdale. Le montant antérieur était vertical et une pièce diagonale appelée *bracon* reliait l'angle antérieur supérieur à l'angle postérieur inférieur. La hauteur (distance de l'axe de rotation, de l'axe des tourillons, au dessus de la fermette) était de 2 m. 11, pour une chute de 1 m. 60 *au maximum*, la largeur (distance entre les crapaudines), de 1 m. 50. Tous les éléments étaient constitués par des fers carrés de 0 m. 04 de côté soudés ensemble; le poids ne dépassait pas 137 kilogrammes.

Les fermettes employées en 1868 aux barrages de la *Moselle*² sont également à montant antérieur vertical (Pl. XII, fig. 2); elles comportent un bracon et trois entretoises horizontales reliant chacune le montant antérieur au bracon et au montant postérieur. La hauteur est de 2 m. 40, pour une retenue de 1 m. 80 environ et la largeur de 1 m. 60. La construction est toute en fers profilés; le cadre est constitué par une double cornière de $\frac{45-30}{5,5}$, le bracon par deux fers en \sqcup de $\frac{50-25}{7}$ adossés, les entretoises par d'autres fers en \sqcup , mais de $\frac{40-20}{5}$ seulement. Ces fers sont assemblés au moyen de rivets et de goussets en tôle à tous les croisements. La traverse inférieure est constituée par un fer rond de 0 m. 045 de diamètre qu'embrassent les montants d'amont et d'aval, ainsi que le bracon. Le poids est de 136 kilogrammes.

Les fermettes du déversoir du barrage d'*Ablon*³ sur la Haute

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1839, 1^{er} semestre, page 233.

2. *Cours de navigation intérieure* de M. H. de Lagrené, tome III, page 209.

3. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1883, 1^{er} semestre, page 642.

Seine, mises en service en 1881, présentent également le montant d'amont vertical, un bracon et deux entretoises horizontales complètes (Pl. XII, fig. 3). La hauteur est de 2 m. 97, pour une chute de 1 m. 84, et la largeur à la base de 2 m. 05.

Un seul échantillon de fer profilé, fer en \sqcup de $\frac{60-30}{6}$, entre dans la composition de toutes les pièces : simple dans le montant d'amont et les entretoises, double (les deux fers adossés) dans le montant d'aval et le bracon. Tous les assemblages sont constitués par de robustes goussets en tôle de 6 mm. ; les angles du cadre sont, en outre, consolidés par de fortes équerres en fer forgé. Le poids est de 248 kilogrammes.

Montant d'amont vertical, bracon, entretoises horizontales complètes au nombre de deux se retrouvent aussi (Pl. XII, fig. 4) dans les fermettes du barrage de *Martot*¹ sur la Basse-Seine, construit de 1863 à 1866. La hauteur est de 3 m. 32, pour une chute qui peut à certains moments atteindre 3 mètres, et la largeur à la base de 2 m. 48. Le cadre est en fer à \top , le bracon et les entretoises en fer en $+$, le tout assemblé au moyen de goussets. Des équerres en fer forgé aux angles du cadre ajoutent à la rigidité du système. Le poids est de 212 kilogrammes.

Les fermettes de la *Meuse belge*², dont les plus anciennes ont été mises en service vers 1855, présentent, à raison de l'emploi de l'échappement Kummer, des dispositions particulières (Pl. XII, fig. 5). La forme générale est celle d'un trapèze (montant d'amont légèrement incliné sur la verticale) surmonté d'un rectangle. Le cadre inférieur, trapézoïdal, est consolidé par un bracon double et une entretoise horizontale. La hauteur est de 3 m. 94, pour une chute de 2 m. 50, et la

1. *Collection de dessins distribués aux élèves des Ponts et Chaussées*, tome III, page 168.

2. *Mémoire sur les travaux de canalisation de la Meuse entre Namur et la frontière française* par M. Martial Hans, ingénieur en chef directeur des Ponts et Chaussées, Bruxelles, 1880, page 39.

FIG. 1. MOULIN-ROUGE.

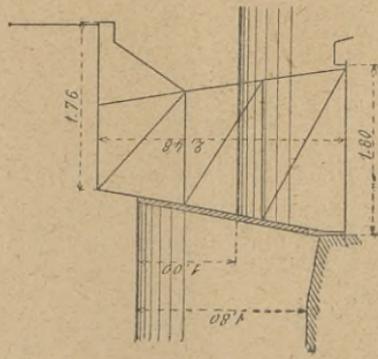


FIG. 2. PORT-A-L'ANGLAIS.

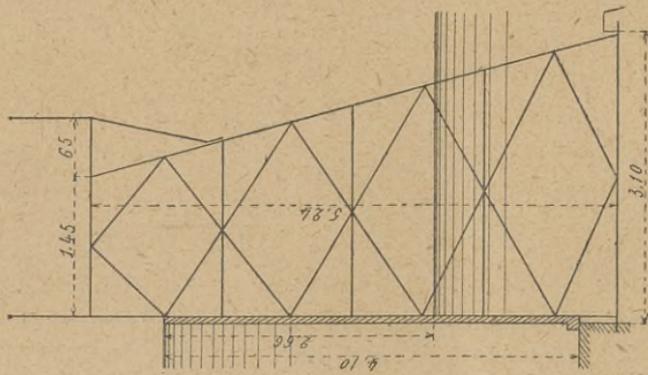


FIG. 3. PORT-VILLETZ.

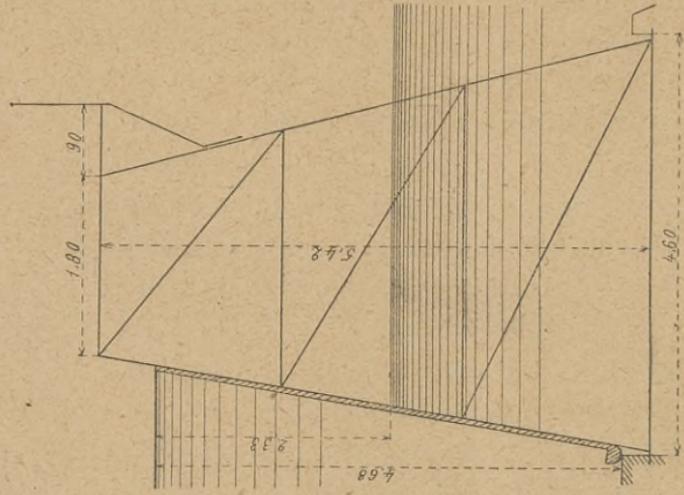
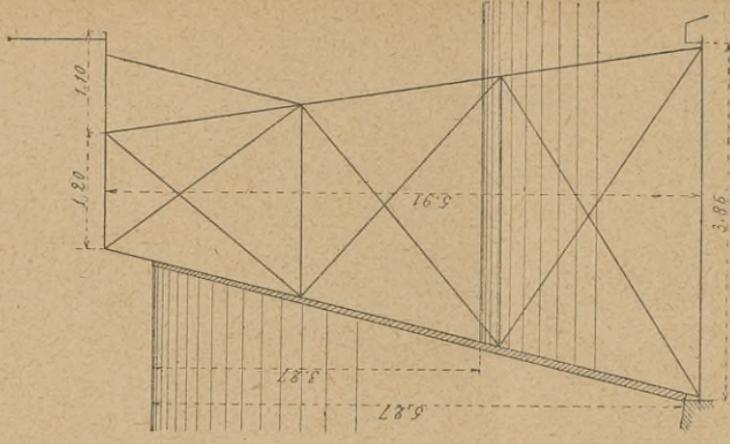


FIG. 4. SURESNES.



largeur à la base de 2 m. 55. La construction est toute en fers méplats ayant uniformément 50 millimètres dans le sens perpendiculaire au plan de la fermette, et dans ce plan respectivement 30 millimètres pour le cadre et 40 pour les deux parties du bracon. Les assemblages sont faits par soudure avec renforcements. Le poids s'élève à 362 kilogrammes, non compris le tablier en tôle (89 kil.) et la barre mobile (31 kil.).

La bouchure du barrage du *Moulin-Rouge* construit sur le Loing en 1900 (Pl. XIII, fig. 1), s'opère au moyen de vanettes à galets avec roulement sur billes. Le cadre des fermettes a ses deux montants inclinés, celui d'amont à raison de 0 m. 20 par mètre. Ce cadre est divisé par deux entretoises horizontales en trois parties dans chacune desquelles une écharpe inclinée vers l'aval relie le montant antérieur au montant postérieur. La hauteur est de 2 m. 48 pour une largeur à la base de 4 m. 80. A la partie supérieure, la fermette s'élargit en plate-forme de 4 m. 76 de largeur pour recevoir une double passerelle dont l'une, celle d'aval, est complètement indépendante de la voie de service. Il n'entre dans la composition de ces fermettes que des tôles de 6 mm. et des cornières de $\frac{40-40}{6}$, la largeur des tôles et le nombre des cornières variant à la demande des efforts à supporter. Les assemblages aux angles sont constitués par de robustes goussets ; les angles inférieurs sont encore consolidés par de fortes équerres en acier au moyen desquelles les tourillons sont fixés sur le cadre. Le poids de chaque fermette est de 330 kilogrammes, chiffre qui met bien en lumière l'effet de la substitution aux aiguilles d'un mode de bouchure reportant toute la charge de la retenue sur les fermettes. Les fermettes de la Moselle, qui sont presque aussi hautes (2 m. 40), pèsent seulement 136 kilogrammes ; les fermettes de la Meuse belge, dont la hauteur atteint 3 m. 94, ne pèsent guère davantage (362 kilogrammes).

Les fermettes du pertuis du barrage de *Port-à-l'Anglais*, (pl. XIII, fig. 2) ont été construites en 1884 et modifiées en

1896 ; bien qu'elles supportent des vannes Boulé, elles ont cependant leur montant d'amont vertical. Le cadre est rempli par un treillis formé d'entretoises au nombre de trois et de croisillons. La hauteur est de 5 m. 24, pour une chute qui peut atteindre 2 m. 66, et la largeur à la base de 3 m. 10. Il n'entre dans la composition de ces fermettes que des tôles de 6 m/m et des cornières de $\frac{60 - 60}{7}$, les unes et les autres en acier. La traverse inférieure a la forme d'un **I** (âme en tôle et 4 cornières), la traverse supérieure et les deux montants ont celle d'un **T** (âme en tôle et 2 cornières) ; le montant d'aval est, en outre, renforcé par une ou plusieurs semelles suivant la hauteur. Les assemblages aux angles sont constitués par de robustes goussets ; les angles inférieurs sont encore consolidés par de fortes équerres en fer forgé au moyen desquelles sont fixés les tourillons. Les entretoises sont en plats de $\frac{80}{6}$, les croisillons en cornières. Le poids est de 965 kilogrammes.

Les fermettes du barrage de *Port-Villez* (pl. XIII, fig. 3), sur la Basse-Seine, livré à la navigation en 1880, supportent des rideaux articulés ; elles se distinguent par leurs fortes dimensions et leur construction massive. Le cadre, dont les deux montants sont inclinés, est divisé par deux entretoises horizontales en trois parties, dans chacune desquelles une écharpe relie le montant antérieur au montant postérieur. La hauteur est de 5 m. 42, pour une chute de 2 m. 33, et la largeur à la base de 4 m. 60. A la partie supérieure la fermette s'élargit en plate-forme de 2 m. 70 pour recevoir une double voie ferrée sur laquelle circulent les treuils de manœuvre. A l'exception de la traverse inférieure, cylindre massif en fer forgé de 0 m. 125 de diamètre, toutes les pièces sont composées de fers spéciaux, à savoir : la traverse supérieure, les entretoises et les écharpes (fig. 34, *a*) d'un plat et de deux cornières ; le montant antérieur (fig. 34, *b*), dans le haut d'un **T** et de deux

cornières, dans le bas d'un Γ , de deux cornières et d'un \sqsubset ; le montant postérieur (fig. 34 *c*) d'un plat, de deux cornières et d'un \sqsubset . Le poids s'élève à 4.975 kilogrammes.

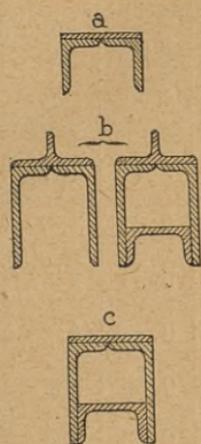


Fig. 34

Nous terminerons cette revue par les fermettes de la passe la plus profonde du barrage de *Suresnes* mise en service en 1885 (pl. XIII, fig. 4) qui atteignent 5 m. 91 de hauteur, avec 3 m. 27 de chute, et dont la largeur à la base est de 3 m. 86. De forme trapézoïdale, avec montant antérieur incliné de $15^{\circ}49'$ sur la verticale, le cadre est divisé par deux entretoises horizontales en trois parties remplies, chacune, par une croix de St-André. La traverse supérieure, pour réaliser l'élargissement nécessaire aux

voies de service, dépasse le montant d'aval ; son extrémité en saillie est soutenue par une jambe de force. Les différentes pièces sont constituées au moyen de fers en \sqsubset simples ou réunis par des semelles en tôle. Sauf quelques exceptions, ces fers sont de largeur et de hauteur uniformes, 120 — 61.5 ; leur épaisseur seule varie.

Le tout est solidement assemblé au moyen de larges goussets en tôle. La barre inclinée de l'amont vers l'aval aboutissant à l'angle inférieur postérieur de la fermette, qui est à peu près dirigée suivant la composante de la pression statique, est notablement plus forte que les autres. La traverse inférieure est constituée, comme les montants, par des fers \sqsubset en qui embrassent des tourillons en acier forgé. Le poids est de 4.800 kilogrammes.

53. Résumé en ce qui concerne la construction des fermettes. — Nous avons réuni dans le tableau ci-après les données les plus intéressantes relatives aux différentes fermettes que nous venons de passer en revue : hauteur totale, largeur à la base, rapport de la base à la hauteur et poids.

DÉSIGNATION DES FERMETTES	Hauteur totale	Largeur à la base	Rapport de la base à la hauteur	Poids
Fermette du barrage d'Epineau.....	2 ^m 41	4 ^m 50	0.71	137 ^k
Fermette des barrages de la Moselle.....	2,40	4,60	0.67	136
Fermette du barrage d'Ablon.....	2,97	2,05	0.69	248
Fermette du barrage de Martot.....	3,32	2,48	0.75	212
Fermette des barrages de la Meuse Belge..	3,94	2,55	0.65	362
Fermette du barrage du Moulin-Rouge....	2,48	4,80	0.73	330
Fermette du barrage de Port-à-l'Anglais..	5,24	3,10	0.59	965
Fermette du barrage de Port-Villez.....	5,42	4,60	0.85	1975
Fermette du barrage de Suresnes.....	5,91	3,86	0.65	1800

Les cinq premières fermettes sont destinées à soutenir des aiguilles; elles comportent toutes un bracon (voir pl. XII). Dans ce cas, en effet, la fermette est sollicitée par une force unique appliquée à l'angle supérieur d'amont. Il en résulte un effort de traction et un effort de compression qui doivent respectivement se transmettre aux crapaudines d'amont et d'aval. La transmission se fait directement: pour la première, par le montant d'amont de la fermette; pour la seconde, par le bracon, pièce diagonale qui joint l'angle supérieur amont à l'angle inférieur aval. La présence de cette pièce est donc tout à fait rationnelle.

Les quatre autres fermettes soutiennent des rideaux articulés ou des vannes; elles ont à travailler dans de tout autres conditions; elles supportent des pressions distribuées tout le long du montant d'amont; il est alors parfaitement justifié de les composer, comme des poutres à treillis, ainsi que le montre la planche XIII.

Arrêtons-nous un instant aux chiffres inscrits dans la colonne *Rapport de la base à la hauteur*. Sauf ceux qui se rap-

portent aux fermettes de Port-à-l'Anglais et de Port-Villez, et qui doivent être considérés comme exceptionnels, ils s'éloignent peu de 0,70. On peut recommander de prendre pour largeur à la base les 0,70 de la hauteur totale de la fermette.

Les fermettes du barrage d'Epineau et celles de la Meuse belge (il ne faut pas oublier que le type de ces dernières remonte à 1853) sont faites de fers carrés ou méplats généralement assemblés par soudure ; toutes les autres fermettes sont constituées par des fers spéciaux assemblés, suivant la pratique actuelle, au moyen de goussets ou d'équerres auxquels ils sont rivés.

Aucun ingénieur ne pourrait aujourd'hui songer à employer pour la construction des fermettes d'autres fers que des fers spéciaux ; ils présentent de trop sérieux avantages au point de vue de la distribution rationnelle du métal et de la facilité des assemblages. Il est bien entendu d'ailleurs que leur emploi commande certaines précautions. Tout d'abord il convient de ne leur faire subir aucune déformation. Les couper à longueur, les dresser, les percer et les river ; c'est tout ce qu'on doit leur demander. Les fers de forme trop compliquée, les fers en $+$ par exemple, ne sont pas à recommander. Il faut aussi éviter la mise en œuvre de fers de trop petites dimensions. Lorsque d'étroites nervures sont percées de nombreux trous de rivets, il peut en résulter plus que l'affaiblissement dont on tient compte dans les calculs. La partie qui sépare la rive du trou de rivet peut être altérée, avariée, et alors la solidité de l'assemblage est compromise. D'autre part, les effets de l'oxydation sont bien plus dangereux sur les fers de faible échantillon.

Quant au poids des fermettes, il n'y a pas à s'en préoccuper outre mesure. L'expérience prouve que, du moins dans certaines limites, ce poids n'est pas une difficulté pour la manœuvre ; par contre, les accidents aux barrages occasionnent de sérieux embarras ; il convient donc d'adopter des organes mobiles solides, sûrs et auxquels on n'ait à faire de réparations

que le plus rarement possible. Une certaine augmentation du prix de premier établissement peut être justifiée par la plus grande durée des ouvrages. D'ailleurs, il n'est pas toujours certain que l'accroissement des poids ait pour conséquence un accroissement de la dépense ; il peut être compensé par une réduction des prix unitaires, surtout si l'on a soin de ne faire entrer dans la construction que des échantillons de fer bien courants et aussi peu nombreux que possible.

54. Tourillons et crapaudines. — La fermette, quelle qu'elle soit, effectue son mouvement de rotation au moyen de deux tourillons cylindriques tournant dans des crapaudines scellées au radier.

Les tourillons, longs de 0 m. 40 à 0 m. 45, sont généralement de diamètre assez faible : 45 millimètres aux barrages de la Moselle, 60 à Martot et à Port-à-l'Anglais, 65 sur la Meuse belge, 95 à Port-Villez. Nous considérons comme prudent de forcer le diamètre des tourillons et par conséquent celui des crapaudines ; on se réserve ainsi la possibilité de remplacer les fermettes par d'autres plus hautes et plus fortes, par conséquent de relever le niveau de la retenue, sans changer les crapaudines, sans toucher aux parties fixes du barrage.

La crapaudine d'amont est une pièce de fonte généralement fort simple, le plus souvent encastrée dans le seuil, percée d'un trou circulaire, où le tourillon d'amont pénètre avec un jeu de 0 m. 01 environ. Quant à la crapaudine d'aval, elle est évidée à sa partie supérieure, de façon à permettre au tourillon correspondant de passer librement pour aller s'asseoir dans la cavité ménagée à cet effet.

La figure 35 représente les deux crapaudines ou coussinets des fermettes de Martot. L'évidement de la partie supérieure de la crapaudine d'aval est en forme de queue d'aronde et peut être, à volonté, fermé par un coin en bois. Lorsque le coin est placé, la fermette est prisonnière et ne peut que tourner sur ses tourillons. Quand le coin est enlevé, et grâce au jeu

ménagé entre le tourillon et la crapaudine d'amont, la fermette peut, avec une égale facilité, être enlevée de ses crapaudines ou remise en place. On a ainsi la possibilité de remplacer une fermette avariée, en pleine eau, en se servant simplement du scaphandre.

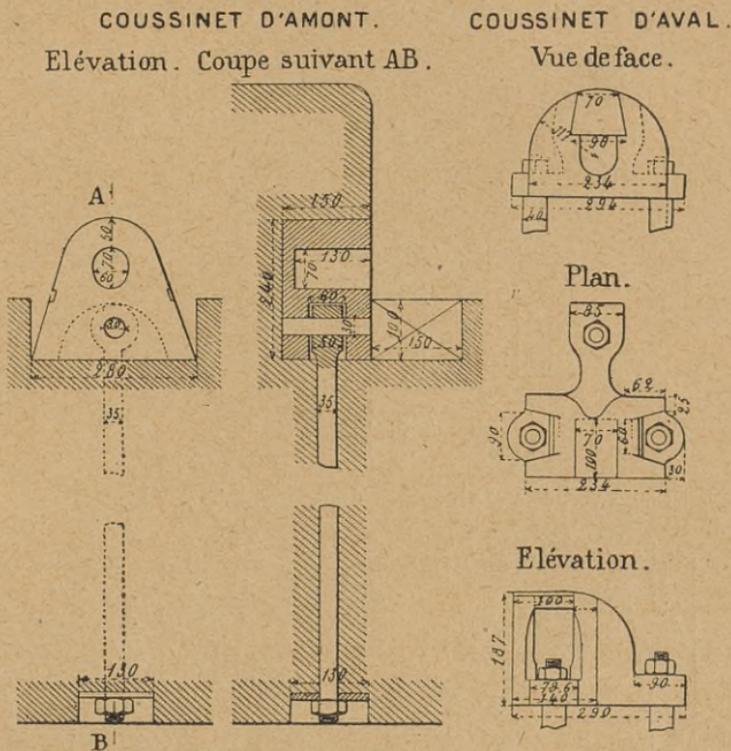


Fig. 35

Quelquefois le coin est remplacé par une clavette métallique traversant les deux joues de l'évidement. C'est le cas au barrage de Créteil sur la Marne, dont les figures 36 et 37 d'autre part représentent respectivement les crapaudines d'amont et d'aval. On remarquera que la première n'est qu'un simple palier indépendant du seuil.

Quelquefois même, il n'y a ni coin ni clavette. Cette dernière disposition a été adoptée avec un plein succès aux barrages de la Moselle et de la Meuse française. L'évidement de la crapaudine d'aval, qui conduit au logement du tou-

rillon, est évasé de manière à faciliter l'introduction de ce tourillon et à le bien guider ; de plus, il est incliné en sens contraire du relèvement de la fermette, de telle sorte que, pendant cette opération, celle-ci ne peut s'échapper accidentellement (fig. 38).

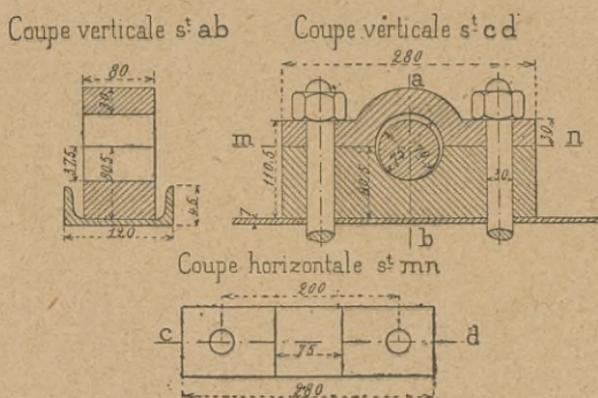


Fig. 36

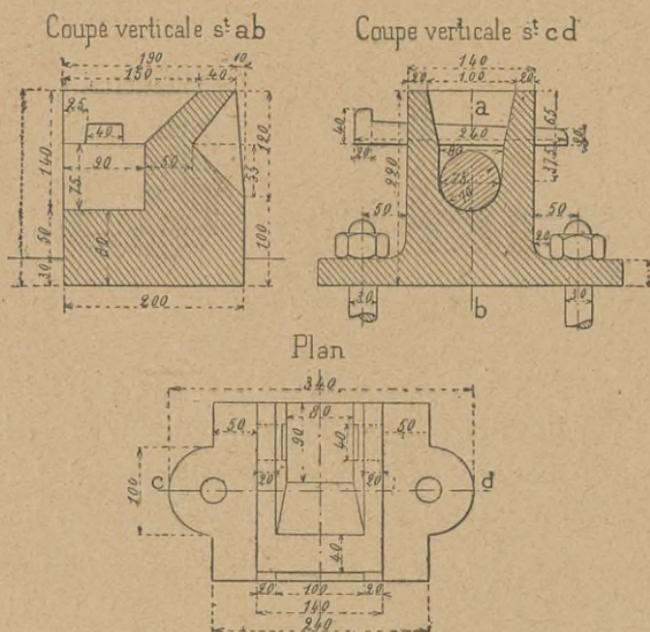


Fig. 37

55. Barres de réunion, barres d'appui, voies de service. — Les *barres de réunion* ont pour objet de fixer

chaque fermette, lorsqu'elle est relevée, exactement dans la position qu'elle doit occuper, et de solidariser toutes les fermettes entre elles.

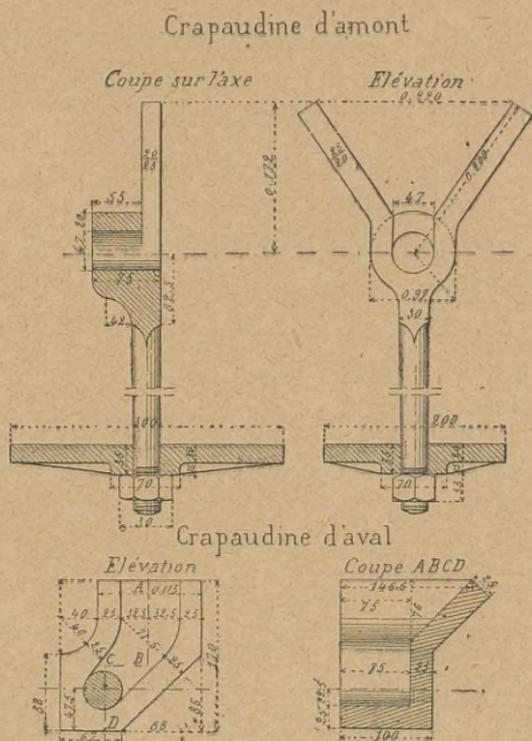


Fig. 38

Telles qu'on les fait aujourd'hui, ces barres présentent à chaque extrémité un œillet. Dans ces œillets peuvent pénétrer des goujons en fer verticaux (fig. 39) dont sont pourvues, à cet effet, les traverses supérieures des fermettes. La distance du centre d'un œillet au centre de l'autre doit être rigoureusement égale à l'écartement de deux fermettes consécutives; les extrémités des deux barres successives frappées sur le même goujon se superposent à mi-fer. La barre elle-même peut être en fer carré, méplat, rond ou profilé.

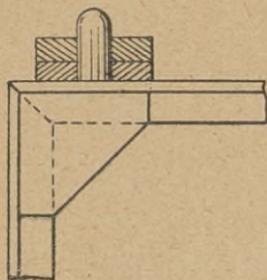


Fig. 39

La barre de réunion d'amont doit, en outre, soutenir la tête des aiguilles, quand ce mode de bouchure est employé ; elle prend alors le nom de *barre d'appui*. Les dimensions transversales à lui donner en ce cas sont faciles à calculer ; la barre résiste comme une pièce reposant sur deux appuis et supportant sur toute sa longueur une charge uniformément répartie. Toutefois, il est prudent de forcer ces dimensions transversales, en prévision des vibrations qui sont transmises à la barre par les aiguilles dès que l'enlèvement de quelques-unes d'entre elles a donné lieu à un écoulement d'eau d'une certaine importance.

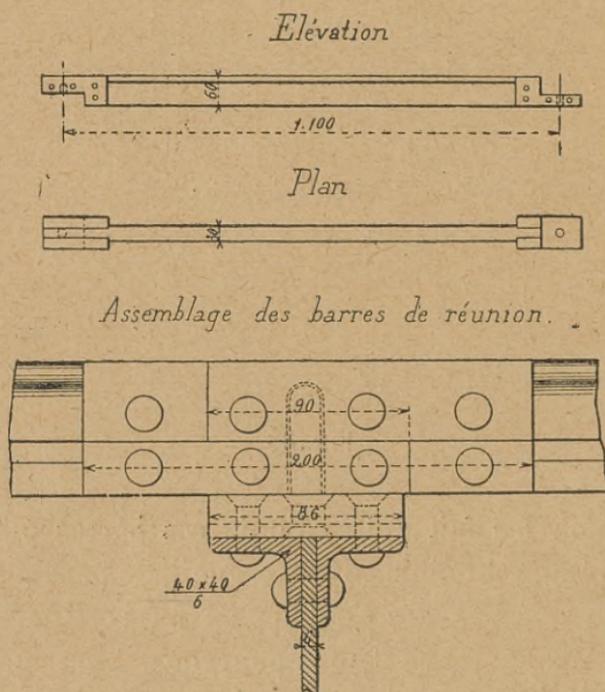


Fig. 40

Si l'on se sert d'aiguilles à crochet, il est bien entendu que la section transversale de la barre d'appui doit être circulaire.

Nous avons vu que la manœuvre de certains modes de bouchure suppose l'existence d'une voie de service sur laquelle circulent des grues roulantes, des treuils spéciaux, etc... Dans ce cas, la voie de service est constituée par les barres de

réunion auxquelles on donne une section transversale appropriée ; la figure 40 montre la forme et le mode d'assemblage, sur les fermettes, des barres de réunion employées au barrage du Moulin Rouge sur le Loing ; elles sont profilées comme des rails. Il arrive même quelquefois qu'une seule voie de service est insuffisante. A Port-Villez, à Suresnes, il y en a deux, avec plaques tournantes permettant de passer de l'une à l'autre.

56. Passerelle de manœuvre. — Première question : à quelle hauteur au-dessus de la retenue convient-il de placer la passerelle ? Il y a assurément intérêt à diminuer cette hauteur et à réduire ainsi au strict nécessaire les dimensions des fermettes et la longueur des aiguilles, au cas où ce mode de bouchure est employé ; par contre, il est essentiel que la passerelle ne soit pas noyée au moindre gonflement des eaux. En général, sa hauteur au-dessus de la retenue est comprise entre 0 m. 20 et 0 m. 30. Nous estimons qu'il est préférable de se rapprocher de ce dernier chiffre ; une légère augmentation dans la hauteur du barrage étant largement compensée par le supplément de sécurité qui en résulte.

Ceci dit, la passerelle peut être en bois ou en métal.

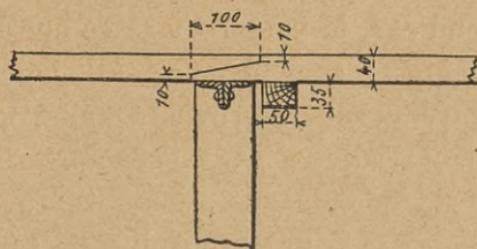


Fig. 41

Dans le premier cas (fig. 41), elle se compose de simples planches posées sur les traverses supérieures des fermettes. La jonction entre deux planches consécutives se fait à mi-bois sur une fermette. Un tasseau cloué sous chaque planche, vers son

extrémité, forme arrêt contre la traverse supérieure de la fermette correspondante et s'oppose à tout mouvement de glissement dès que la planche est posée. D'ailleurs les planches sont généralement maintenues en place par une mollebande en fer appelée *bride de passerelle*, dont les figures 42 et 43 font comprendre la disposition d'ensemble et le mode d'attache.

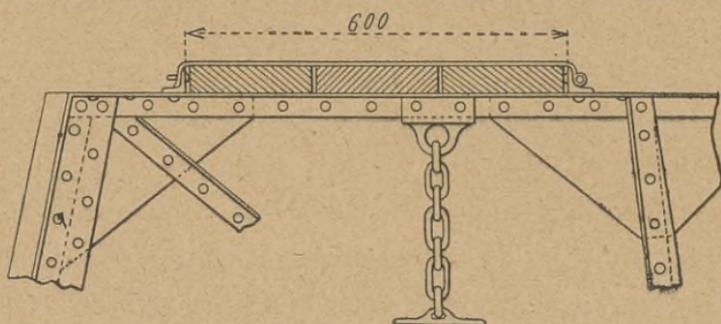


Fig. 42

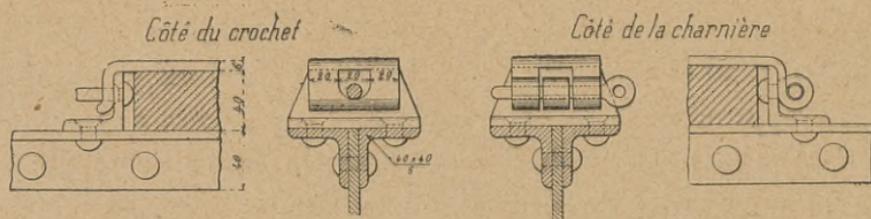


Fig. 43

Dans le second cas, la passerelle se compose d'une série de tabliers métalliques ; chacun d'eux est lié à une fermette, autour de la traverse supérieure de laquelle il peut tourner et se replier pour la suivre lors de l'abatage ; à l'extrémité opposée, il porte deux griffes susceptibles d'embrasser la traverse supérieure de la fermette suivante. La figure 1 de la planche VI (page 54) montre deux éléments de la passerelle d'un barrage de la Meuse belge¹ ; l'un des tabliers est en place et réunit l'avant-dernière fermette relevée à la dernière ; l'autre est replié le long de celle-ci. Ces tabliers métalliques

1. Des dispositions analogues avaient été adoptées dès 1839 pour les barrages du Cher canalisé.

remplacent donc les barres de réunion et c'est là un avantage ; par contre, ils peuvent être une cause de complications dans les manœuvres, et ils constituent sûrement un supplément de poids, placé à la partie supérieure de la fermette, c'est-à-dire dans une position fâcheuse, aussi bien pour l'abatage que pour le relevage.

Mais le plus grave inconvénient des passerelles métalliques c'est d'être très glissantes en temps de pluie ou de verglas. Les manœuvres des barrages doivent se faire de nuit comme de jour, quelles que soient les intempéries : pluie, neige, tempête, etc..; elles sont donc souvent très pénibles et parfois fort dangereuses. Il importe de réduire autant que possible les périls auxquels le personnel est exposé et de ne pas abuser du dévouement et du courage dont nous l'avons toujours trouvé disposé à faire preuve. Il y a là une question d'humanité qui doit dominer toute autre considération ; nous donnons donc la préférence à la passerelle en bois qui est, d'ailleurs, la plus usitée.

57. Chaînes d'attache des fermettes. — Dans les premiers barrages, chaque fermette était attachée à sa voisine par une chaîne assez longue pour que, l'une étant debout, l'autre pût être complètement couchée. Grâce à cette chaîne, dès qu'une fermette était relevée et réunie à la précédente par la passerelle, on avait en mains le moyen de relever la suivante et de reconstituer ainsi, élément par élément, l'ossature du barrage. La première chaîne, fixée par une de ses extrémités à une culée, servait de point de départ à la manœuvre.

L'expérience a montré que cette disposition n'était pas sans inconvénients. Quand les fermettes sont couchées, les chaînes, qui ont nécessairement beaucoup de mou, sont parfois entraînées par les courants violents qui se produisent au fond des passes ; elles s'emmêlent, s'accrochent aux fermettes, se nouent aux menus objets, leviers, marteaux, etc...

qu'on a pu laisser tomber à l'eau pendant les manœuvres. Alors on a beaucoup de peine à remettre les choses en ordre et il en résulte des retards dans le relevage, c'est-à-dire au moment où ces retards sont le plus gênants.

C'est pour éviter ces inconvénients qu'à divers barrages on a complètement supprimé les chaînes ; on se contente alors, pour relever les fermettes, de les saisir à la gaffe. Il est certain que la disposition est plus simple ; mais la manœuvre exige des hommes exercés, car pour peu que les courants soient rapides et les eaux profondes, le maniement de la gaffe cesse d'être facile. En outre, lors des abatages, la fermette tombe brusquement, sans être guidée, sans qu'on puisse s'assurer qu'elle occupe bien la place voulue, et cette chute peut être accompagnée d'avaries s'il y a quelque porte-à-faux.

Voici, pour assurer dans de bonnes conditions les manœuvres d'abatage et de relevage des fermettes, des grandes fermettes notamment, le procédé qui a été appliqué pour la première fois à Suresnes et qui tend à se généraliser. Ce qu'il a de caractéristique, c'est que les manœuvres sont continues.

Toutes les fermettes d'une même passe sont attachées au moyen d'un dispositif spécial, et seulement au moment des manœuvres, à une même chaîne qui passe sur les traverses supérieures. La longueur de chaîne comprise entre deux fermettes est plus grande que l'écartement des axes de rotation, de telle sorte qu'à Suresnes, par exemple, six fermettes à la fois s'abattent ou se relèvent comme les branches d'un éventail. On agit sur la chaîne au moyen d'un treuil fixe placé sur la culée de la passe (fig. 44).

Avec ce système, une fermette se trouvant en place, il suffit de la détacher de la chaîne et de tirer une petite longueur de cette dernière pour amener la fermette suivante dans la position verticale ; les manœuvres d'ouverture et de fermeture des passes se réduisent à très peu de choses près à l'enlèvement ou au rétablissement des barres de réunion et des madriers de la passerelle.

A Suresnes, l'ouverture de la passe navigable, de 72 m. 38 de débouché, se fait ainsi en trois heures et la fermeture en cinq heures, et cependant les fermettes, au nombre de 58, pèsent chacune 1.800 kilogrammes. Le treuil est un treuil

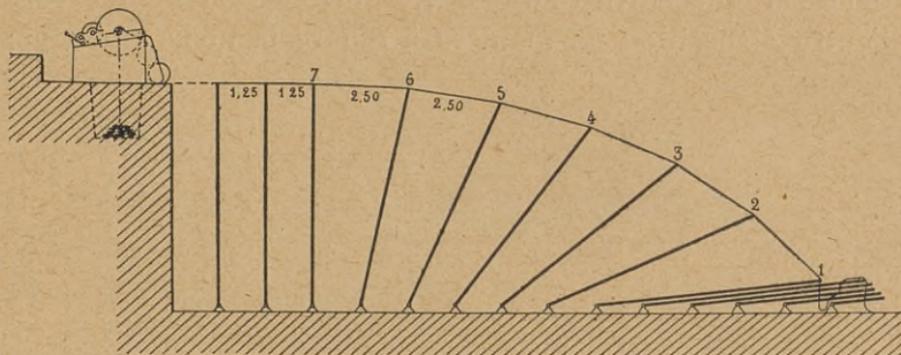


Fig. 44

spécial qui porte le nom du constructeur, M. Mégy ; l'attache momentanée de chaque fermette à la chaîne se fait au moyen d'un organe spécial dû au même constructeur et appelé *mordache*¹.

Depuis, sur la Haute Seine notamment, on a bien simplifié les choses. On se sert d'un treuil quelconque et, pour remplacer la mordache, chaque fermette porte un petit bout de chaîne terminé par un T (fig. 42, page 106) que l'on passe dans un des anneaux circulaires disposés à cet effet, à intervalles égaux, le long de la grande chaîne de manœuvre.

58. Dispositions spéciales à la fermette de rive du côté du rabatement. —

La hauteur des fermettes étant, ainsi que nous l'avons déjà remarqué, très supérieure à leur écartement, la fermette qui s'abat la première et se relève la dernière n'aurait pas la place suffisante pour se coucher sur le radier.

On remédie à cet inconvénient : tantôt en creusant une

1. Voir *Annales des Ponts et Chaussées*, 1889, 2^e semestre, pages 84 et suivantes.

niche suffisamment profonde dans la culée ou dans la pile (fig. 45); tantôt en plaçant la dernière fermette à une distance du parement des maçonneries qui permette son abatement complet et en reliant cette dernière fermette au dit parement par une barre tournante; tantôt en combinant l'une et l'autre disposition de manière à rendre la niche moins pro-

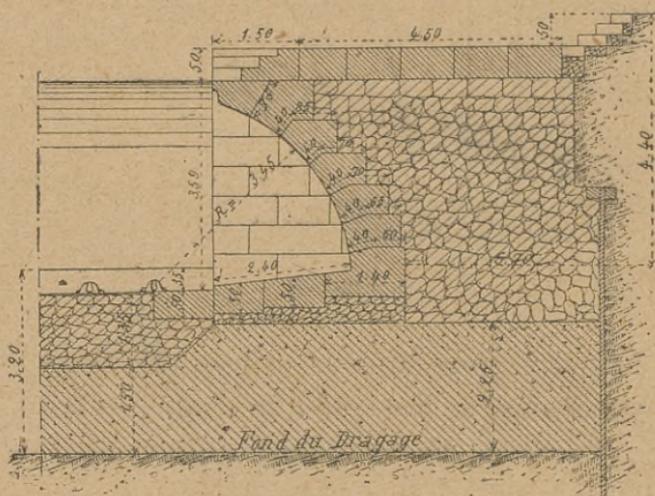


Fig. 45

fonde et la barre moins longue. D'autres fois encore la fermette de rive présente une articulation qui permet à la partie supérieure de se rabattre sur la partie inférieure. Dans tous les cas, le barrage doit être disposé de telle sorte que les fermettes se relèvent en partant de la rive où se trouve la maison éclésièrè.

Lorsque la bouchure est constituée par des aiguilles, le jeu entre le mur vertical qui limite la niche à l'amont et le montant d'amont, également vertical, des fermettes, peut être faible; par suite de l'inclinaison des aiguilles, le vide de la niche reste entièrement en arrière de celles qui joignent la culée.

Avec un autre mode de bouchure, il faut installer, à l'aplomb du parement de la culée, une fausse fermette avec montant incliné pour soutenir les rideaux ou les vannes; on

est alors conduit à employer un écran métallique qui sert de fausse fermette et qui masque le vide angulaire restant entre le mur vertical qui limite la niche à l'amont et la ligne oblique du support de la bouchure. C'est notamment ce qui a été fait au barrage de Suresnes ¹.

59. Espacement des fermettes. — En définitive, les dispositions à prendre pour assurer l'abatage de la fermette de rive, du côté du rabattement, dépendent essentiellement de l'écartement des fermettes ; elles se simplifient à mesure que l'écartement augmente.

De cet écartement dépend aussi, toutes choses égales d'ailleurs, le nombre des fermettes qui se superposent lorsque le barrage est abattu, par conséquent la profondeur du logement qu'il faut leur ménager au-dessous du seuil pour qu'elles soient entièrement masquées. A ce point de vue encore, une augmentation d'écartement aurait des avantages.

Par contre, elle aurait pour conséquence l'augmentation du poids des fermettes (chacune d'elles ayant une plus grande charge à supporter devrait être composée d'éléments plus robustes), et aussi du poids de nombre de pièces accessoires : barres de réunion, barres d'appui, éléments de passerelle, etc.

Jusqu'à présent on s'est montré plutôt timide en cette matière. L'écartement des fermettes ne dépasse guère 4 mètre à 4 m. 10 ; tout au plus est-on allé à 4 m. 25 à Suresnes et à 4 m. 28 à Port-Villez. Il semble, sous toute réserve des enseignements de l'expérience, que l'on pourrait, avec avantage, dépasser ces limites.

Nous avons déjà dit plus haut qu'il n'y avait pas à se préoccuper outre mesure du poids des fermettes. Il s'en faut que leur prix de premier établissement soit toujours proportionnel à leur poids ; d'autre part, avec le mode d'abatage et de relevage continu, aujourd'hui en usage, on peut manœuvrer avec

1. Voir *Annales des Ponts et Chaussées*, 1889, 2^e semestre, pages 87 et suivantes.

toute facilité les fermettes les plus lourdes. Il semble donc qu'il n'y ait d'autre limite à leur écartement que l'obligation de conserver toujours maniables les pièces accessoires énumérées ci-dessus.

§ 4

PARTIES FIXES. — APPRÉCIATION DU SYSTÈME

60. Radier, culées ou épaulements, piles. — Le radier des barrages mobiles à fermettes, considéré dans son ensemble, consiste en un massif plein, de béton ou de maçonnerie, tout à fait analogue à celui qui constitue le radier des barrages fixes. Il doit, autant que possible, être descendu non seulement jusqu'au terrain incompressible et inaffouillable, mais encore jusqu'au terrain imperméable. Les filtrations par dessous peuvent, en effet, compromettre gravement la conservation d'un ouvrage et affamer la retenue. Tantôt posé à sec, tantôt coulé dans l'eau, le béton de fondation est, dans un cas comme dans l'autre, compris entre deux vannages de pieux et palplanches. A l'amont et surtout à l'aval, le radier est protégé par des massifs d'enrochements (*avant-radier, arrière-radier*), toujours comme dans les barrages fixes.

Parfois le barrage est simplement limité par deux *culées* appelées aussi *épaulements* ; d'autres fois, il est divisé par une ou plusieurs *piles* intermédiaires. L'intervalle entre deux culées ou deux piles, ou encore entre une culée et une pile, constitue une *passé*.

Sur la Moselle et sur la Meuse, M. l'inspecteur général Frécot a profité des piles des barrages pour établir des ponts qui ont été construits aux frais des communes. Les piles sont évidées au niveau du plancher de service du barrage et l'ensemble produit un effet architectural très heureux. Ces

ouvrages remplissent en même temps un double office ; ils réalisent la canalisation de la rivière et établissent des communications entre les localités riveraines.

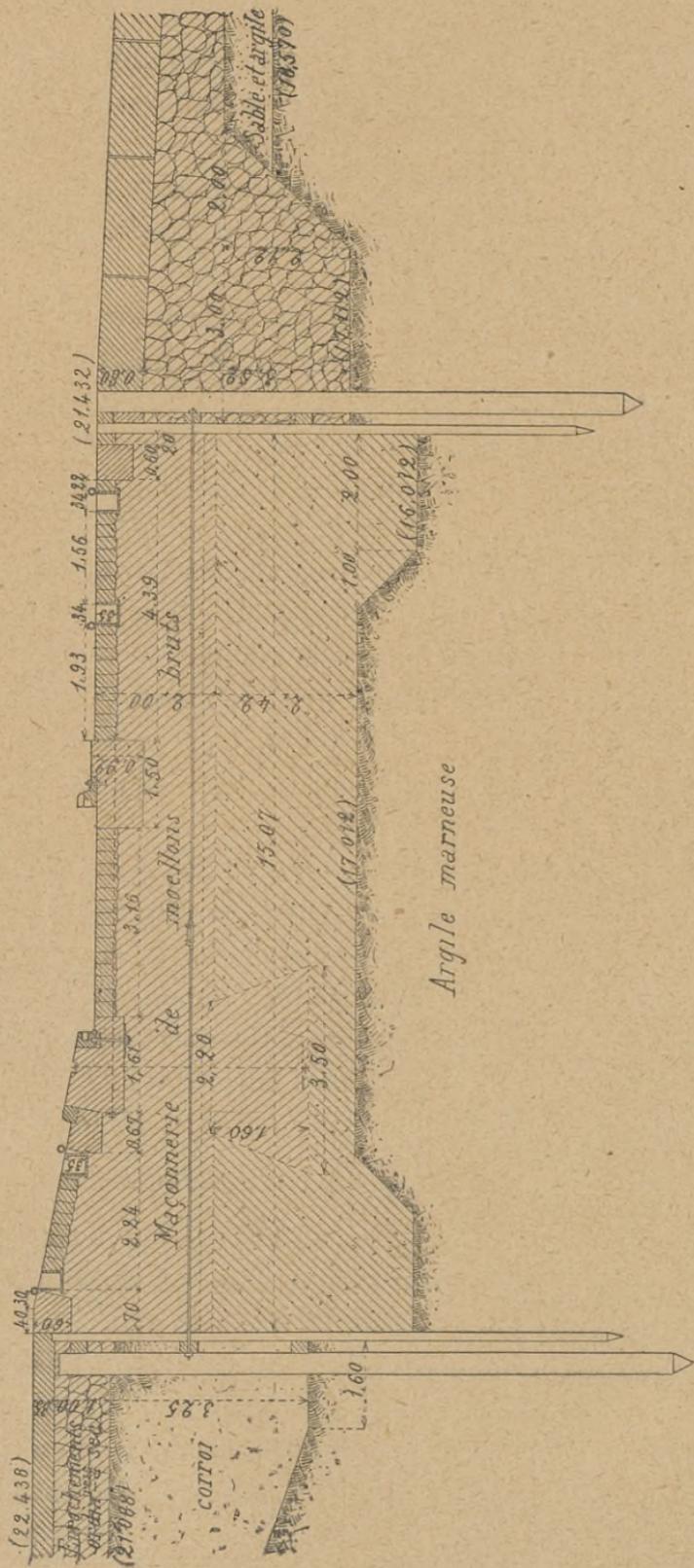
Comme spécimen de radier de barrage mobile à fermettes, la planche XIV (page 114) représente le radier de la passe navigable du barrage de Suresnes.

La largeur du radier proprement dit dépasse 15 mètres (elle est exactement de 15 m. 07 entre palplanches) ; la moindre épaisseur atteint 4 m. 42 dont 2 m. 42 de béton et 2 mètres de maçonnerie. A la partie inférieure, aux deux extrémités, se trouvent des parafeuilles, remplis de béton, de 1 mètre de profondeur et de 2 m. 50 de largeur moyenne. A la partie supérieure, l'extrémité amont surmonte de 1 mètre environ (exactement 1 m. 006) l'extrémité aval. La partie supérieure est revêtue d'un pavage en moellons smillés interrompu seulement au passage de certaines files de pierres de taille, à savoir : la plate-bande d'amont, les pierres où sont scellées les crapaudines d'amont, celles où sont scellées les crapaudines d'aval et la plate-bande d'aval.

Entre la plate-bande d'amont et les pierres qui portent les crapaudines d'amont, d'une part, entre les pierres qui portent les crapaudines d'aval et la plate-bande d'aval, d'autre part, sont encastrés dans le pavage des pots en fonte disposés suivant deux lignes et destinés à faciliter l'établissement de batardeaux sur le radier, en cas de réparations à faire, soit au radier lui-même, soit aux organes mobiles du barrage. Ils ont à l'intérieur une section carrée de $\frac{0 \text{ m. } 30}{0 \text{ m. } 30}$ et une profondeur de 0 m. 35 ; ils sont placés sur le prolongement de l'axe des fermettes et par conséquent, espacés dans chaque file, de 1 m. 25. Les files sont distantes entre elles de 1 m. 90 d'axe en axe.

Chaque pot est fermé par un tampon de terre glaise, afin qu'il ne se remplisse pas de vase et qu'un plongeur puisse facilement le déboucher. On comprend aisément qu'en enfonçant des pieux dans la cavité de ces pots, on peut construire

COUPE TRANSVERSALE



PL. XIV. RADIER DE LA PASSE NAVIGABLE DU BARRAGE DE SURESNES

des batardeaux dans le sens longitudinal et dans le sens transversal, de manière à isoler la partie que l'on veut réparer. Des anneaux scellés sur le radier, entre les pots, facilitent en outre la pose des moises de fond pour relier les pieux. Après avoir enfilé des moises accouplées sur la tête des pieux on les attache au moyen de cordes que l'on fait passer dans les anneaux. En tirant sur les cordes, on oblige les moises à s'enfoncer dans l'eau jusqu'à la base des pieux.

Le dessin donne une idée suffisamment exacte des dispositions des deux vannages de pieux et palplanches ; nous nous contenterons d'ajouter que les moises intermédiaires de l'un et de l'autre sont réunies par des tirants en fer rond de 50 millimètres traversant tout le massif de maçonnerie du radier et généralement espacés de 3 en 3 mètres.

L'avant-radier se compose d'abord d'un remblai en corroi de terre argileuse jusqu'au niveau du fond de la rivière, ensuite d'une couche d'embrochements ordinaires de 1 m. 35 de hauteur. Sur une épaisseur de 0 m. 35 à la partie supérieure, les embrochements sont maçonnés de manière à former un radier plan et uni qui recouvre toutes les saillies, y compris celles des pieux et palplanches, jusqu'à la rencontre du radier proprement dit.

L'arrière-radier se compose exclusivement d'embrochements. La première moitié à partir de l'enceinte d'aval, la seule qui soit vue dans la planche XIV, est constituée par des embrochements ordinaires recouverts, à la partie supérieure, de blocs de maçonnerie¹ ayant une section carrée de 2 m. 00 de côté et 0 m. 80 d'épaisseur. En d'autres termes, l'arrière-radier est protégé par un revêtement de 0 m. 80 d'épaisseur, divisé à l'avance en blocs carrés de façon que, si les courants d'eau produisent des affouillements, les blocs tombent dans les cavités et les empêchent de s'agrandir. Ce revêtement est disposé en pente de 0 m. 05 par mètre vers l'aval.

1. Ces blocs ont été maçonnés sur place, avant de laisser l'eau rentrer dans les fouilles.

La seconde moitié de l'arrière-radier se compose d'une couche horizontale d'enrochements exceptionnels ayant 1 m. 70 d'épaisseur. Ces enrochements sont compris entre $1/5$ et $1/8$ de mètre cube et pèsent au moins 300 kilogrammes.

Mais, ce qu'il y a de plus caractéristique dans un radier de barrage mobile à fermettes, c'est la disposition du seuil et de la chambre des fermettes.

61. Seuil. — Lorsque le barrage est bouché avec des aiguilles, le seuil forme une saillie contre laquelle vient buter leur extrémité inférieure. On donne à cette saillie 0 m. 10 à 0 m. 15 ; son parement antérieur présente la même inclinaison que les aiguilles et est placé à une distance des fermettes réglée par cette inclinaison même.

Tantôt le seuil est en pierre et fait corps avec les blocs qui portent les crapaudines d'amont ; c'est le cas des barrages de la Moselle (fig. 46).

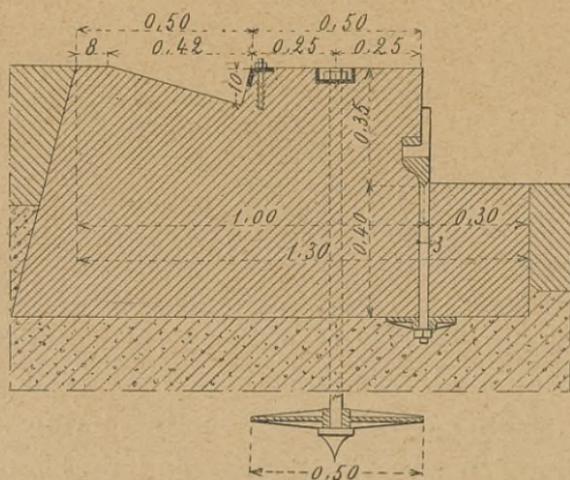


Fig. 46

Ailleurs, aux barrages de la Meuse belge, par exemple, il est formé par une pièce de bois qui est encastrée dans des sommiers en pierre de taille et qui reçoit aussi les crapaudines d'amont (fig. 47).

Quand le pied d'une aiguille vient heurter contre le seuil, il se produit un choc qui peut être violent, surtout s'il s'agit d'aiguilles à crochets de grandes dimensions. Pour éviter qu'il n'en résulte des avaries, on applique assez habituellement sur l'arête antérieure une garniture métallique (fig. 46). Il importe que cette garniture soit fixée au seuil d'une manière exceptionnellement solide (c'est en général au moyen de

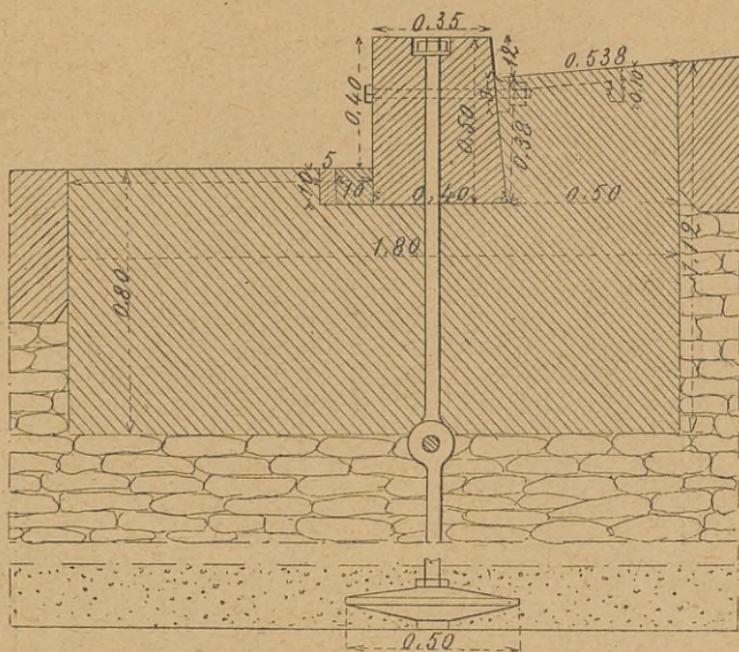


Fig. 47

boulons à tige barbelée), attendu que son déplacement serait une cause de grande perturbation dans les manœuvres.

On fait aussi des seuils entièrement métalliques ; le barrage de Créteil, sur la Marne, en offre un intéressant spécimen. La planche XV (page 118) donne une coupe transversale détaillée du seuil du barrage de Créteil, tandis que les dispositions d'ensemble sont figurées aux planches XVI et XVII (pages 124 et 125) qui représentent le radier du même ouvrage. Le seuil en question se compose essentiellement d'une grande cornière ayant une branche horizontale de 0 m. 40 de large, posée à

plat sur le radier, et une branche verticale de 0 m. 30 de haut. Cette grande cornière est composée d'une âme en tôle de 10 millimètres d'épaisseur et de deux petites cornières, de $\frac{80-100}{9}$ placées l'une dans l'angle des deux branches, l'autre au sommet de la branche verticale du côté d'aval. Disposées au-devant des fermettes, distantes par conséquent de 1 m. 25 d'axe en axe, des consoles transversales s'étendent de part et d'autre de la pièce, la consolident et permettent de la fixer aux maçonneries du radier.

C'est sur la face antérieure de la branche verticale de la grande cornière qu'est fixée la pièce en fonte cannelée dont nous avons déjà parlé à la page 60, et qui est vue en plan sur la planche XVII, page 125). Comme nous l'avons dit plus haut, l'extrémité inférieure de chaque aiguille est disposée de façon à s'emboîter exactement dans la cannelure correspondante ; chaque élément de la bouchure a ainsi sa place indiquée d'avance. Quand il s'agit d'aiguilles à crochet qui, grâce à leurs fortes dimensions, ne sont pas exposées à se voiler et qui, en tout état de cause, doivent toujours porter par la même face sur leurs points d'appui, cette disposition ne saurait avoir que des avantages.

Quand le barrage est bouché avec des rideaux articulés ou des vannes, le seuil forme simplement un plan incliné sur lequel viennent reposer les sabots d'enroulement des rideaux ou les bords inférieurs des vannes du dernier rang. La planche XIV (page 114), qui représente le radier de la passe navigable du barrage de Suresnes, montre un seuil de ce genre.

62. Chambre des fermettes. — A l'origine, la chambre des fermettes formait un encuvement profond, limité à l'amont par le parement postérieur vertical du seuil et à l'aval par une autre paroi verticale qui soutenait les crapaudines d'aval. Les inconvénients de cette disposition, qui provoquait l'accumulation de dépôts de toutes sortes, n'ont pas tardé à se

faire sentir. Lorsqu'on voulait ouvrir la passe, les fermettes ne se couchaient pas bien les unes sur les autres; celles qui restaient en porte-à-faux étaient brisées ou tout au moins faussées.

Aujourd'hui, on supprime complètement l'encuvement à l'aval et on le réduit autant que possible à l'amont.

Dans la passe navigable du barrage de Suresnes (Pl. XIV, page 114), quand les fermettes sont abattues les unes sur les autres, elles forment une couche dont l'épaisseur est de 0 m. 80. C'est pourquoi la hauteur du seuil au-dessus du pavage de la chambre des fermettes a été fixée à 1 m. 006. Mais on a donné à ce seuil la forme d'un plan doucement incliné, en pente de 0 m. 172 par mètre ¹, et l'encuvement d'amont se réduit à 0 m. 30. A l'aval, la saillie de la base de chaque crapaudine est continuée vers l'aval par une saillie de la pierre de taille sur laquelle elle est fixée; mais, entre deux crapaudines, il reste une bande de 0 m. 40 de largeur où la pierre est arasée au niveau du pavage de la chambre des fermettes. Grâce à cette disposition aucun dépôt ne peut y séjourner.

A Créteil, l'encuvement à l'amont se réduit à la hauteur de la branche verticale du seuil métallique, soit à 0 m. 30. A l'aval, il a complètement disparu (Pl. XVI, page 124).

63. Efforts exercés sur les crapaudines. — Si nous considérons une fermette en particulier, nous avons vu plus haut (page 86) que, lorsque la retenue est tendue, la crapaudine d'amont subit un effort d'arrachement, la crapaudine d'aval un effort d'écrasement et un effort de traction de l'amont vers l'aval.

Il n'y a pas beaucoup à se préoccuper de la crapaudine d'aval. L'effort d'écrasement qu'elle subit est toujours faible

1. Sur le plan incliné on a ménagé une saillie de 0 m. 18 protégée par un heurtoir en chêne, afin de se réserver le moyen d'y appuyer, au besoin, un vannage provisoire pendant le remplacement ou la réparation de quelques fermettes.

en comparaison de celui que peut supporter le sommier en pierre de taille auquel elle est fixée, et cet effort n'est transmis à la maçonnerie sous-jacente que grandement atténué. Quant à la tendance au glissement, elle sera efficacement combattue : sur le sommier par des boulons de scellement et par un encastrement dans la pierre ; sur la maçonnerie en épaulant le sommier par une tranche de radier suffisamment large. Cependant, dans certains barrages, on a pris un surcroît de précaution en reliant la chaîne de pierre qui porte les crapaudines d'aval à celle qui porte les crapaudines d'amont ; de cette manière la maçonnerie est intéressée sur presque toute la largeur du radier. C'est le cas au barrage de Suresnes (Pl. XIV, page 114).

Quant à l'effort d'arrachement qui s'exerce sur la crapaudine d'amont, on ne saurait s'en préoccuper trop sérieusement. Dans les dispositions à prendre pour combattre cet effort il ne faut pas oublier : d'une part, qu'on ne saurait compter sur l'adhérence du mortier, c'est-à-dire sur la résistance de la maçonnerie à la traction ; d'autre part, que ces maçonneries sont exposées à perdre une partie notable de leur poids par suite des sous-pressions. Il devient donc indispensable d'intéresser un cube considérable de maçonnerie.

61. Ancrages. — Les dispositions usitées à cet effet constituent les divers systèmes d'*ancrage*.

Dans les barrages du type Poirée primitif, tels que le barrage d'Épineau, les fermettes étaient montées sur un grillage complet en charpente qui comprenait :

1° Une longrine d'amont formant seuil et dans laquelle étaient encastrées les crapaudines d'amont ;

2° Une longrine d'aval dans laquelle étaient encastrées les crapaudines d'aval ;

3° Des entretoises transversales, une au droit de chaque fermette.

Dans les maçonneries du radier était pratiqué un logement

où le grillage en charpente était placé et coincé. La solidarité entre le grillage et la maçonnerie n'était assurée que par la forme en queue d'aronde du logement et les coins ; il n'y avait, en réalité, pas d'ancrage.

La figure 46 (page 116) montre le mode d'ancrage employé aux barrages de la Moselle. Chaque ancre consiste essentiellement en une tige de fer rond de 35 millimètres qui traverse les pierres du seuil et les maçonneries sous-jacentes. A sa partie supérieure, la tige est filetée et munie d'un écrou ; à sa partie inférieure, elle se termine par un disque ou plateau horizontal en fonte, de 0 m. 50 de diamètre, noyé dans le béton ; c'est sur ce disque que se reporte tout l'effort d'arrachement. L'espacement des ancres est de 2 m. 20, c'est-à-dire double de celui des fermettes ; elles sont placées au milieu de l'intervalle qui sépare ces dernières, de deux en deux, et leur hauteur est variable avec la profondeur des fondations. Un fer en \sqsubset logé dans une rainure longitudinale pratiquée à cet effet dans les pierres du seuil, les solidarise toutes. C'est sur l'âme de ce fer qu'est serré l'écrou de l'ancre. Les crapaudines d'amont sont d'ailleurs reliées aux pierres du seuil par un ancrage moins puissant, mais tout à fait analogue, dont la figure 38 (page 103) montre les détails à plus grande échelle. La tige de fer rond n'a que 0 m. 03 de diamètre ; le disque en fonte est de forme elliptique de $\frac{0,20}{0,30}$; l'écrou est à la partie inférieure de la tige, sous le disque.

Aux barrages de la Meuse belge, le système d'ancrage est à très peu près le même (fig. 47, page 117). Il y a une ancre dans chaque intervalle entre deux fermettes. La tige, en fer rond de 40 millimètres, traverse le seuil en bois, passe dans des entailles ménagées sur les faces de joint de chacune des pierres de taille de la chaîne correspondante, et traverse les maçonneries sous-jacentes jusqu'à la base du béton de fondation. La tige est en deux parties ; la partie inférieure s'assemble avec la partie supérieure, au niveau du dessous des

pierres de taille, au moyen d'une broche de 0 m. 40 de longueur traversant l'œillet ménagé dans une des parties et la fourche à œillets ménagée dans l'autre. Le disque de fonte qui termine l'ancre, à son extrémité inférieure, a 0 m. 50 de diamètre ; l'écrou de l'extrémité supérieure est noyé dans le seuil en bois et serre ce dernier dans la feuillure des pierres.

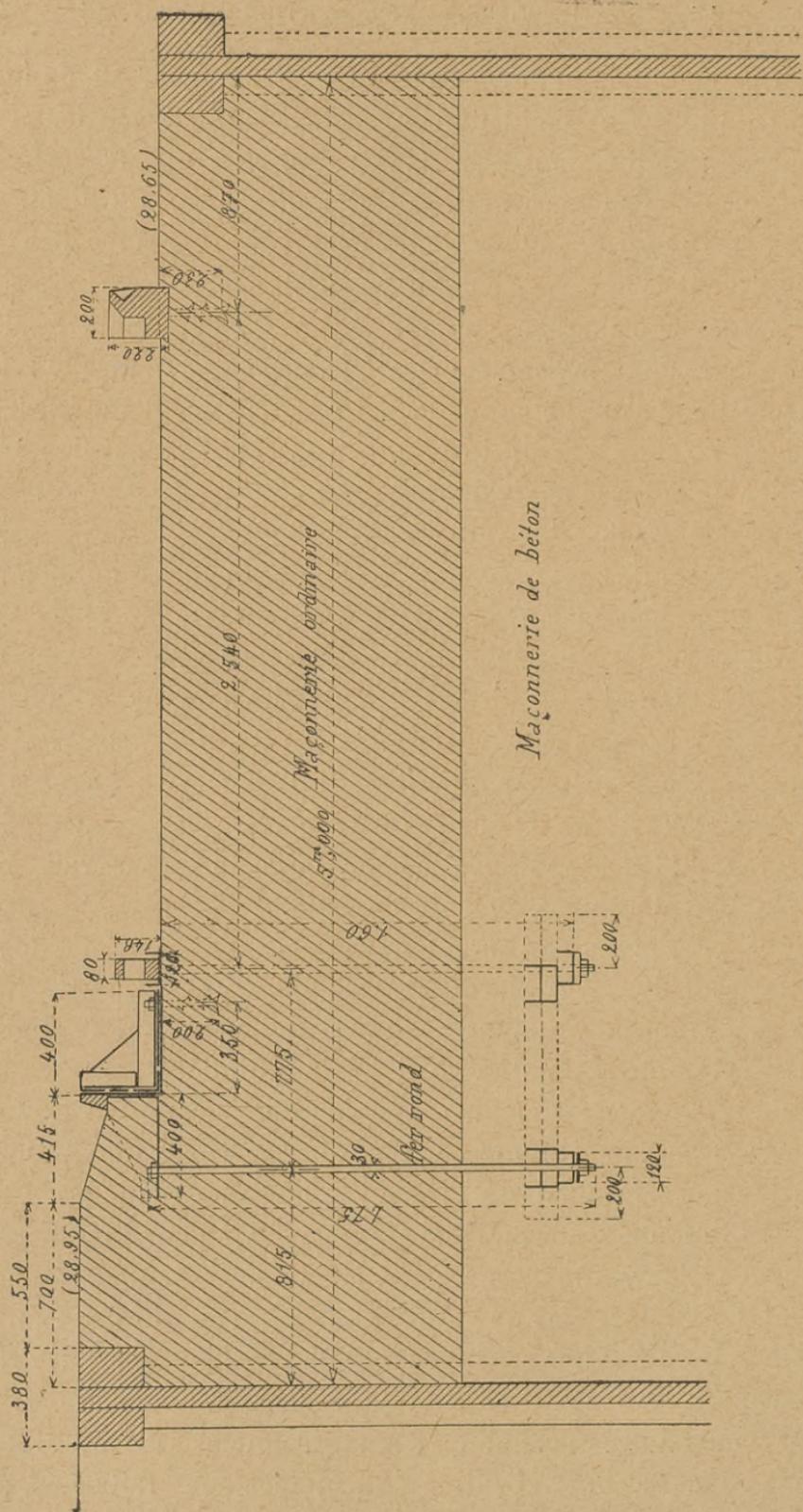
Le mode d'ancrage employé à Suresnes présente la plus grande analogie avec celui des barrages de la Moselle ; les dispositions d'ensemble ressortent très nettement sur la planche XIV (page 114) qui représente la coupe transversale du radier de la passe navigable.

Les pierres de taille renfermant les crapaudines amont des fermettes sont réunies les unes aux autres ; elles sont ancrées dans le radier au moyen de disques en fonte de 0 m. 80 de diamètre noyés à la partie inférieure du béton, de tiges en fer rond de 50 millimètres ayant 4 mètres de hauteur et d'un fer en \sqsubset encastré dans la partie supérieure des pierres, reliant toutes ces tiges et supportant leurs écrous. Les ancres sont espacées de 2 m. 50, soit du double de l'espacement des fermettes ; elles sont placées au milieu de l'intervalle qui sépare ces dernières, de deux en deux.

Les crapaudines d'amont des fermettes sont d'ailleurs encastrées dans ces pierres de taille et ancrées à leur partie inférieure au moyen d'un disque en fonte de 0 m. 50 de diamètre et d'une tige en fer rond de 50 millimètres.

Enfin, le mode d'ancrage appliqué au barrage de Créteil, sur la Marne, mérite une mention toute spéciale. Il est représenté dans les planches XVI et XVII d'autre part ; la première donne la coupe transversale et la seconde le plan du radier du barrage ; dans cette dernière, sur la largeur de 2 m. 50 comprenant deux intervalles de fermettes, la maçonnerie de la partie antérieure du radier est supposée enlevée pour bien faire voir la disposition des parties métalliques. Le seuil, métallique, est indépendant des crapaudines d'amont, simples paliers entretoisés par un fer en \sqsubset . Seuil et crapaudines sont rattachés, par

COUPE TRANSVERSALE



PL. XVI. RADIER DU BARRAGE DE CRÉTEIL.

de longs boulons de 0 m. 03 de diamètre traversant tout le radier, à un bâti métallique, sorte de poutre en treillis posée à plat, noyée dans les profondeurs du béton de fondation et placée de telle sorte que toute la partie antérieure du radier, celle qui porte la pression de l'eau du bief supérieur, soit intéressée. Il semble que cette disposition doive donner toutes garanties.

Grâce au mode de construction adopté pour le radier du barrage de Créteil, on a évité l'emploi de ces gros blocs de pierre de taille dont la mise en place est toujours difficile et devient particulièrement délicate quand elle se complique de sujétions comme en comportent généralement les divers systèmes d'ancrage.

65. Avantages et inconvénients des barrages mobiles à fermettes. — Le premier avantage du système est incontestablement la simplicité de conception et la rusticité.

Quand le barrage est effacé, il ne reste au fond de l'eau que des organes simples, robustes, sans aucun mécanisme compliqué. Tous les éléments de la bouchure, aiguilles, rideaux articulés ou vannes, ont été enlevés et mis en lieu sûr. Chacun de ces éléments, lorsque le barrage est en charge, est d'ailleurs facile à retirer du haut de la passerelle, pour être réparé ou remplacé en tant que de besoin.

L'existence d'une passerelle de service à la partie supérieure des fermettes constitue, à elle seule, un avantage sur l'importance duquel il n'est pas besoin de s'étendre. D'autre part, si cette passerelle est suffisamment haute, le niveau de la retenue peut être relevé autant que le permet la résistance des fermettes, sans aucune transformation des organes mobiles. Le barrage Poirée présente donc, au point de vue des modifications possibles dans les hauteurs de retenue, une élasticité qui constitue encore un très sérieux avantage.

Nous avons discuté plus haut (page 77) les mérites des différents systèmes de bouchure. Mais, qu'il s'agisse d'ai-

guilles, de rideaux articulés ou de vannes, il n'y a *aucun ordre commandé* pour leur enlèvement ; le barragiste est toujours maître de distribuer les émissions d'eau au mieux de la conservation des parties fixes du barrage, de l'enlèvement des dépôts et des convenances de la navigation à l'aval ; autre avantage capital.

En ce qui concerne les inconvénients, on a pu reprocher autrefois aux barrages Poirée le défaut d'étanchéité des aiguilles, mais, à la condition d'adopter les forts équarrissages qui sont admis aujourd'hui et d'employer, au besoin, certains artifices dont nous avons parlé, ce reproche n'est plus à retenir.

Par contre, la manœuvre est toujours restée longue. Il faut d'abord enlever toute la bouchure dont les éléments sont nombreux, et c'est seulement ensuite qu'on peut coucher les fermettes en prenant toutes les précautions voulues. Si une crue subite survient, il peut en résulter des embarras. Sans doute, cet inconvénient est bien atténué par l'emploi des aiguilles à crochet et l'usage de plus en plus répandu, le long des voies navigables, des communications télégraphiques ou téléphoniques ; cependant il reste entier si, au lieu d'une crue plus ou moins exactement prévue, il s'agit de corps flottants dont l'arrivée est généralement inopinée.

C'est un train de bois entraîné à la dérive par les courants qui viendra se jeter sur le barrage, ou encore un bateau dont les amarres auront été détachées ou rompues. M. Guillemain cite l'exemple d'un immense radeau formé spontanément d'arbres abattus, de ceps de vigne et de haies déracinés, qui, à la suite d'un très violent orage survenu dans la vallée d'un affluent torrentiel de la Loire, est venu se jeter sur le barrage de Roanne, empêchant l'écoulement de l'eau, enchevêtrant les aiguilles et les fermettes, soulevant la retenue jusqu'au-dessus de la passerelle et compromettant ainsi, sérieusement, l'existence de l'ouvrage. Il est certain qu'en pareil cas il n'y a pas de mesure préventive possible. Tout ce qu'on peut sou-

haïter, c'est que les fermettes cèdent avant les ancrages de façon que les avaries se limitent aux pièces mobiles, faciles à remplacer, sans atteindre les maçonneries. On ne peut d'ailleurs, en ces circonstances critiques, que s'en rapporter à la présence d'esprit des agents, pour atténuer le mal autant que possible, en usant des expédients auxquels il reste encore loisible d'avoir recours.

Les corps flottants les plus à redouter, au moins dans les pays où l'hiver est généralement rigoureux, sont les glaces en mouvement entraînées par le courant, alors que la rivière *charrie*, comme on dit, avant sa prise complète. Quelle peut être, en pareille occurrence, la situation d'un barrage mobile à fermettes ?

Si l'abaissement de la température n'a été ni trop prononcé ni trop brusque, la couche de glace qui aura pu se former en amont du barrage sera encore très mince ; on se hâtera de la casser et de procéder à l'enlèvement complet de la bouchure ainsi qu'à l'abatage des fermettes, pour laisser passer les glaçons flottants encore peu abondants et peu volumineux. Mais il faut bien compter que cela ne se fera pas sans de sérieuses difficultés. Les différents éléments de la bouchure, les barres de réunion, etc... seront souvent soudés ensemble, par suite de la congélation de l'eau et ne pourront être détachés qu'à coups de masse. En outre, dès qu'une partie de la bouchure aura été enlevée, le plan d'eau s'abaissera à l'amont, les courants s'accroîtront, les glaçons se précipiteront avec plus de vitesse vers l'issue qui leur aura été ouverte et choqueront violemment les fermettes et les autres pièces encore en place, non sans causer aux unes et aux autres des avaries plus ou moins graves. Cependant on peut encore espérer s'en tirer vaille que vaille.

Mais si l'abaissement de la température a été considérable et soudain, la situation peut devenir d'autant plus redoutable que c'est presque toujours pendant la nuit que le phénomène se produit. L'eau qui s'écoule entre les éléments de la bouchure

se congèle brusquement par l'aval ; la congélation se propage jusqu'à la face amont et toutes les pièces du barrage se soudent en une unique masse *étanche*. Les glaçons flottants, abondants et déjà volumineux, sont arrêtés ; ils montent les uns par-dessus les autres et forment une *embâcle*. L'écoulement de l'eau est suspendu, le niveau monte rapidement à l'amont du barrage, de véritables désastres peuvent se produire.

Voici, par exemple, ce qui s'est produit sur la Meuse, à Verdun, certain jour de l'hiver 1875-1876. La veille, à 11 heures du soir, le barragiste avait visité les abords du barrage et n'avait constaté aucune trace de glace. A 6 heures du matin, le barrage était entièrement congelé et surmonté par les glaçons ; l'écoulement de l'eau était complètement intercepté. Cependant le niveau de l'eau montait avec une rapidité effrayante à l'amont ; les quartiers bas de la ville de Verdun commençaient à être submergés et aucun remède ne paraissait possible, car on ne pouvait même plus accéder à l'ouvrage. Par bonheur, l'une des culées céda et, par la brèche ainsi ouverte, les eaux et les glaçons se frayèrent un passage. Sans doute l'avarie était grave ; mais elle était encore préférable à l'inondation complète de la ville.

Pour prévenir toute éventualité fâcheuse, on a l'habitude dans la plupart des services d'abattre les barrages, même en l'absence de glaces, dès que la température descend à un niveau déterminé, dans chaque localité, par l'expérience ou par comparaison, et susceptible d'amener la congélation. Ici c'est -5° , ailleurs c'est -6° , mais partout la règle suivie est à peu près la même.

Les dangers dont nous venons de parler n'avaient pas échappé à la profonde sagacité de M. Poirée et, à côté de tous ses barrages à fermettes, il avait placé un long déversoir de superficie qui assurait le passage des corps flottants. Par la suite on s'est affranchi de cette précaution (c'était notamment le cas sur la Meuse à Verdun) ; la conséquence a été l'obligation d'abattre les barrages dès que l'apparition des glaçons semble imminente.

Malgré l'inconvénient qu'ils présentent au point de vue du passage des corps flottants et sur lequel nous nous sommes longuement étendu, les barrages mobiles à fermettes sont en somme des ouvrages simples, commodes, essentiellement pratiques. L'invention de M. Poirée a fourni et fournit encore un excellent instrument pour l'amélioration des rivières par voie de canalisation ; elle s'est répandue dans le monde entier.

CHAPITRE III

BARRAGES MOBILES A PONT SUPÉRIEUR

§ 1. *Barrage de Poses.* — § 2. *Autres applications. Appréciation du système*

66. Idée de principe. — Pour suivre un ordre logique, nous étudierons maintenant les barrages mobiles à pont supérieur. En effet, ces ouvrages ont, dans leurs dispositions générales, plusieurs points communs avec les barrages mobiles à fermettes. Comme dans ces derniers, chaque passe y est *effectivement* subdivisée en un nombre plus ou moins grand de pertuis de faible largeur, au moyen de fermes métalliques mobiles constituant des appuis indépendants de la bouchure, et, d'autre part, les modes de bouchure sont les mêmes. Seulement, c'est autour d'un axe horizontal normal au courant que les fermes métalliques sont susceptibles de se mouvoir.

Si on suppose que l'axe en question est placé au sommet des fermes et que celles-ci peuvent se relever au-dessous du tablier d'un pont suffisamment élevé qui règne sur toute la longueur de l'ouvrage, on a le *barrage à pont supérieur* dont la première idée doit être attribuée à M. Tavernier, ingénieur en chef de la navigation du Rhône, et a été conçue en vue de la canalisation de ce fleuve ¹.

1. Un modèle du barrage Tavernier figure dans les galeries de l'Ecole des Ponts et Chaussées depuis 1881. La lettre d'envoi fait mention d'un

Le Rhône charrie des quantités considérables de matériaux parmi lesquels se trouvent des galets volumineux ; par cela même on ne saurait songer à y établir des barrages dont les organes mobiles se couchent au fond de l'eau. A chaque crue, ces organes risqueraient d'être détériorés et recouverts de dépôts qui en rendraient le relèvement impossible. De là l'idée de ne prendre sur le radier établi dans le fond du lit qu'un simple point d'appui, et de suspendre les fermes mobiles à une poutre supérieure au-dessous de laquelle elles seraient relevées lors de l'ouverture du barrage. Ces fermes et leurs organes de rotation se trouveraient ainsi toujours accessibles et visibles, ce qui a de sérieux avantages au point de vue de l'entretien et de la facilité des manœuvres.

Comme système de bouchure, M. Tavernier prévoyait des aiguilles.

Cependant, sur le Rhône, l'idée est restée à l'état de projet. C'est sur la Seine qu'elle a été réalisée pour la première fois¹ par MM. de Lagréné et Caméré ; elle a été appliquée à quatre des barrages compris entre le confluent de l'Oise et Rouen, c'est-à-dire dans une partie du fleuve où des barrages mobiles à fermettes fonctionnaient et fonctionnent encore d'une manière tout à fait satisfaisante.

Parmi ces ouvrages, nous prendrons comme exemple le plus important, le barrage de Poses. Sa chute est de 4 m. 18 ; c'est la plus forte qui ait été franchie jusqu'à présent au moyen

rapport descriptif spécial adressé à l'administration le 15 août 1878. La première proposition remonte à 1872.

1. Nous devons constater qu'elle l'avait été déjà en Allemagne, mais dans des proportions bien moins considérables. Le barrage construit en 1874-75 à Pretzien, près de Magdebourg, sur un ancien bras de l'Elbe, comporte, avec un pont supérieur, des montants mobiles, susceptibles d'être relevés sous le tablier du pont, et sur lesquels sont appliquées des vannes en tôle emboutie. Seulement, il ne s'agit pas ici d'un ouvrage de navigation ; le barrage de Pretzien a pour but de concentrer, pendant la plus grande partie de l'année, les eaux dans le bras navigable, tout en permettant de leur rendre leur écoulement naturel lors des grandes crues. Cet ouvrage a fait l'objet d'un article inséré dans le *Génie civil*, tome VI, n^o du 14 février 1885.

d'un barrage mobile, et cette circonstance justifie, au moins dans une certaine mesure, la solution spéciale qui y a été appliquée.

§ 1

BARRAGE DE POSES

67. Vue d'ensemble. — Le barrage de Poses ¹, dont la retenue normale est à l'altitude (8,45), comprend *sept* passes. En allant de la rive gauche à la rive droite, on trouve successivement :

2	passes de 32 m. 48	ayant leur seuil à l'altitude (3,45)	
2	— 30 m. 16	—	(5,45)
3	— 30 m. 16	—	(3,45)

Toutefois, une banquette de halage de 2 m. 24 ayant été ménagée dans chacune des passes extrêmes, le débouché linéaire total est inférieur de 4 m. 48 à la somme des ouvertures des sept passes ; il est égal à 215 m. 76 — 4 m. 48 = 211 m. 28.

Les passes sont comprises entre des piles de 4 mètres d'épaisseur supportant un double pont métallique à poutres droites. Dans les deux passes de gauche, exclusivement réservées à la navigation quand le fleuve est rendu à son cours naturel, le dessous des poutres est placé à un niveau suffisant pour laisser une hauteur entièrement libre de 5 m. 25 au moins, au-dessus des plus hautes eaux de navigation. Dans les autres passes, il suffit qu'elles laissent au-dessus du niveau des plus grandes crues un espace libre suffisant pour le passage des corps flottants.

A la partie inférieure du pont d'aval sont articulés, autour

1. *Collection de dessins distribués aux élèves de l'Ecole des ponts et chaussées*, tome III, page 495.

d'un arbre horizontal parallèle à l'axe du pont, les *montants*, longues poutres en tôle qui pendent jusqu'au radier et viennent buter, lorsqu'elles sont à peu près verticales, contre des dés en pierre ou heurtoirs en légère saillie sur ce dernier. Les montants réunis quatre par quatre forment les *cadres*. C'est sur ces cadres que s'appuient les rideaux articulés qui constituent la bouchure.

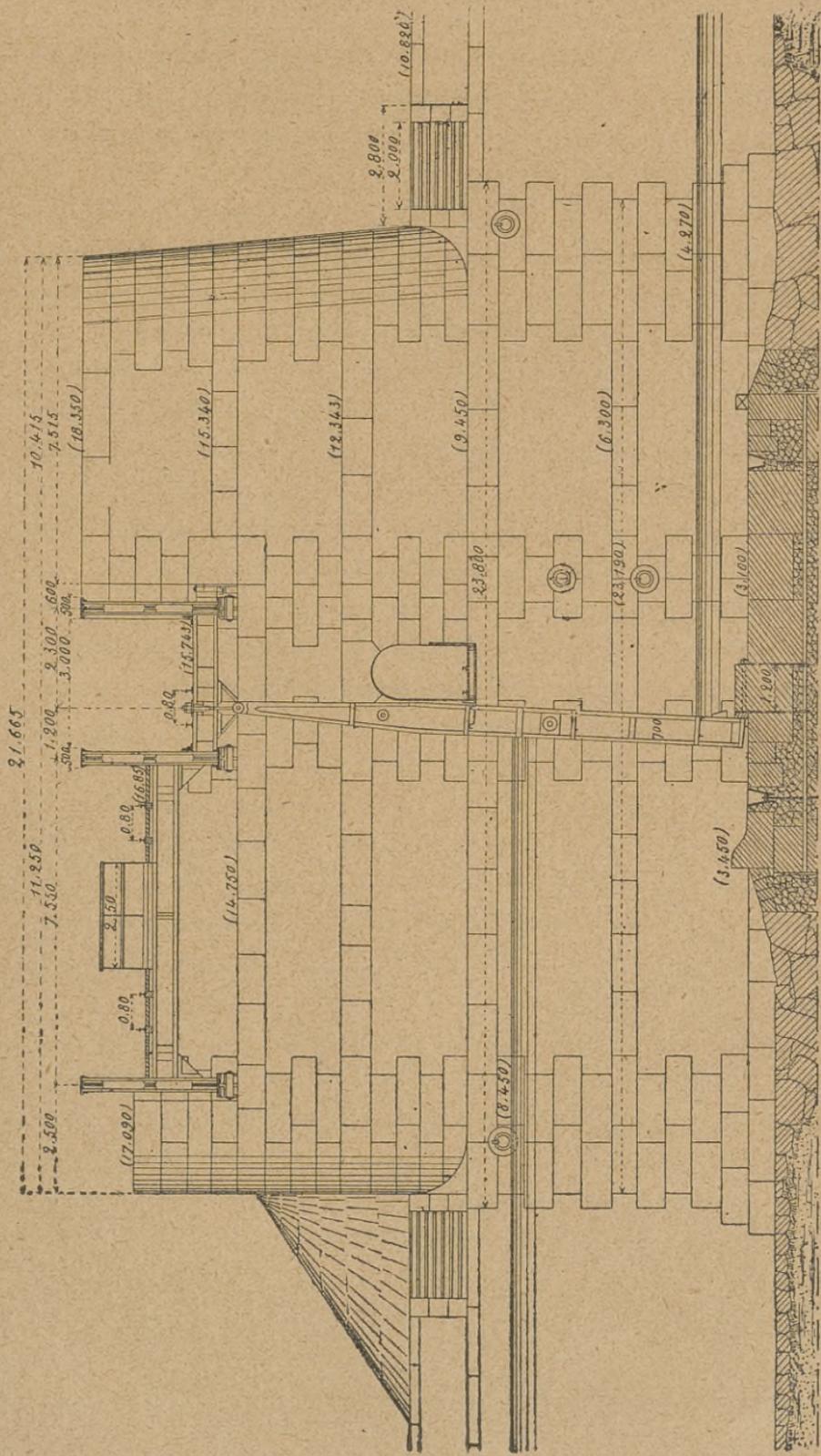
Pour rendre les eaux à leur cours naturel, il suffit d'enrouler les rideaux et de relever les cadres sous le pont d'amont ; la rivière est alors absolument libre ; il ne reste sur le radier du barrage que des saillies insignifiantes. En outre, tous les engins mobiles peuvent être alors visités et réparés à volonté, puisqu'ils sont fixés au tablier d'un pont qui domine les plus hautes eaux connues, et restent, par conséquent, toujours facilement accessibles.

Nous allons maintenant regarder les choses de plus près. Cependant, nous n'avons pas la prétention de faire connaître ici les infinis détails du grand ouvrage auquel reste justement attaché le nom de M. Caméré ; nous devons nous borner à en faire comprendre le fonctionnement. La description sommaire qui suit s'applique donc à une seule passe, la passe de rive gauche, une de celles qui sont réservées à la navigation lorsque la rivière est rendue à son cours naturel ; il ne sera fait aucune mention des modifications de détail dans les dispositions ou des changements dans les dimensions que peuvent présenter les autres parties de l'ouvrage.

68. Ponts supérieurs. — Les ponts supérieurs sont au nombre de deux (pl. XVIII) :

1° A l'aval, un pont dont le tablier, dit *de suspension*, soutient les cadres et reporte sur les arrière-becs des piles et des culées la fraction de la poussée de l'eau qui lui est transmise par le sommet de ces mêmes cadres quand le barrage est fermé ;

2° A l'amont, un pont dont le tablier, dit *de manœuvre*,



Pl. XVIII. BARRAGE DE POSES. — COUPE TRANSVERSALE

supporte l'effort exercé, pendant le relevage, par le treuil au moyen duquel se fait cette opération, et une partie du poids des organes mobiles, lorsque ceux-ci sont relevés pour l'ouverture complète du barrage.

En exécution, les deux tabliers qui ont, non seulement des destinations différentes, mais encore des niveaux distincts, ont été juxtaposés. La poutre de rive d'aval du tablier de manœuvre a été supprimée et les pièces de pont de ce tablier ont été prolongées pour être fixées sur la poutre de rive d'amont du tablier de suspension. On a ainsi obtenu un élargissement très utile du tablier de manœuvre, en même temps que la juxtaposition des deux tabliers rendait les communications plus faciles et que leur liaison faisait contribuer l'ensemble des deux ponts à la résistance aux poussées horizontales.

Le tablier d'amont présente, au droit de chaque cadre, un vide rectangulaire de 1 m. 50 de largeur sur 2 m. 50 de longueur. C'est par cette ouverture que l'on fait passer le rideau enroulé, soit pour le mettre en place sur le cadre, soit pour l'enlever en cas de réparation.

Les trois poutres verticales supportant les tabliers sont à treillis; ce treillis, à grandes mailles, est constitué par des pièces en , placées suivant les diagonales des panneaux formés par les montants verticaux. Ces derniers ont un espacement uniforme de 2 m. 32 d'axe en axe, correspondant à la largeur des éléments mobiles du barrage ¹.

La poutre d'aval et la poutre intermédiaire sont espacées de 3 m. 50 d'axe en axe. Cet espacement, suffisant pour le passage des appareils et les manœuvres, était d'autre part commandé par la nécessité de donner une dimension convenable au tablier qui, pour la transmission des poussées de l'eau aux arrière-becs des piles et culées, fonctionne comme une poutre horizontale.

La largeur du tablier d'amont dépend, dans une certaine

1. Les ouvertures, indiquées plus haut, de 32 m. 48 et de 30 m. 16 correspondent respectivement à 14 et à 13 éléments.

mesure, de la hauteur à laquelle les ponts supérieurs sont établis au-dessus de la retenue, attendu qu'il y a avantage à abaisser, le plus possible, le point d'attache, sur les cadres, des chaînes qui servent à les relever, d'une part, et que, d'autre part, l'inclinaison de ces chaînes sur la verticale ne peut pas descendre au-dessous de certaines limites. Dans l'espèce, les points d'attache des chaînes sur les cadres sont placés à 0 m. 90 environ au-dessous du niveau de la retenue et l'inclinaison de la chaîne sur la verticale est à peu près de 33° au commencement du relevage. L'écartement des poutres du tablier d'amont s'est ainsi trouvé fixé à 7 m. 55 dans la passe qui nous occupe.

Les poutres de rive des ponts supérieurs reposent sur les maçonneries par l'intermédiaire d'appareils d'appui et de dilatation, combinés de telle sorte que la résultante des pressions passe toujours par le centre de l'appui, quelles que soient les flexions prises par les poutres sous l'influence des surcharges. Des appareils d'appui et de dilatation du même genre ont été placés verticalement, au niveau du tablier de suspension, entre la poutre d'aval et les massifs de butée élevés sur les arrière-becs des piles et culées.

Il existe sur le tablier d'amont deux voies ferrées ; l'une, celle d'amont, est destinée à la circulation d'un treuil pour la manœuvre des cadres, et l'autre à la circulation d'une grue servant à l'enlèvement et à la mise en place des rideaux. Une troisième voie, établie sur le tablier d'aval, sert au passage d'un vérin de soulèvement des cadres dont il sera parlé plus loin. Dans toutes ces voies, l'écartement des rails est de 0 m. 80, d'axe en axe.

69. Cadres. — Les montants, dont la réunion constitue les cadres, sont des poutres en tôles et cornières, dont la ligne d'axe est inclinée vers l'amont de 0 m. 065 par mètre, de telle sorte qu'ils s'appliquent sur les heurtoirs sans l'intervention de la poussée de l'eau (pl. XIX, page 139).

Dans la passe considérée, leur longueur totale à partir de l'axe de l'arbre de suspension est de 11 m. 615 ; leur portée réelle, mesurée verticalement, est de 11 m. 25. Leur section est en forme d'⊥ présentant depuis le pied jusqu'à 2 m. 50 au-dessus de la retenue une largeur constante de 0 m. 70. Au-dessus de ce niveau, la largeur de la section diminue progressivement jusqu'au sommet, où elle se réduit à 0 m. 25.

Les montants sont groupés par deux disposés symétriquement, ayant même arbre d'articulation (fer rond de 90 millimètres de diamètre) et même arbre pour l'attache de la chaîne de relevage (fer rond de 50 millimètres). Chaque groupe mesure 0 m. 91 de largeur hors fer et est séparé du voisin par un intervalle de 0 m. 25. Les quatre montants, répartis en deux groupes qui constituent un cadre, sont reliés les uns aux autres par quatre entretoises en tôles et cornières et, en outre, par un troisième arbre (fer rond de 65 millimètres) servant à l'accrochage de la passerelle mobile dont il sera parlé plus loin. Chaque cadre a donc en définitive deux arbres d'articulation et deux chaînes de relevage.

Les arbres d'articulation s'appuient par leurs abouts sur des consoles disposées au-dessous des pièces de pont du tablier d'aval. Des dispositions ingénieuses, dans le détail desquelles il serait trop long d'entrer, permettent de régler avec une précision rigoureuse la position de ces arbres, soit dans le sens horizontal, soit dans le sens vertical.

70. Passerelle de manœuvre des rideaux. — Sur la face aval des cadres, à 1 m. 00 au-dessus du niveau de la retenue et dans le plan horizontal d'une des entretoises qui relie les montants, est établie la passerelle de manœuvre des rideaux (Pl. XIX), formée d'éléments mobiles de 4 m. 16 de longueur. Chacun de ces éléments se compose d'un châssis en fer en ⊥ sur lequel sont fixés : le plancher en tôle striée de la passerelle ; les rails, écartés de 0 m. 55 d'axe en axe, pour la circulation du treuil de manœuvre des rideaux ; les montants du

garde-corps, etc... Le côté amont du châssis est relié à la face aval des deux montants d'un même groupe par deux charnières, autour desquelles l'élément de passerelle peut tourner pour se relever et venir s'appliquer exactement sur les montants ; il ne forme plus alors sur la face aval de ces derniers qu'une saillie de 0 m. 20 à 0 m. 25.

Il ne nous est pas possible d'entrer ici dans le détail des dispositions qui permettent le relèvement de chaque élément de passerelle et son exacte application sur les montants ; nous dirons seulement que pour le maintenir dans cette position, une fois qu'il y est arrivé, il est accroché par une chaîne *ad hoc* au fer rond de 65 millimètres qui réunit les quatre montants du cadre correspondant.

La continuité du passage entre les passerelles des diverses passes est assurée par des évidements pratiqués à même hauteur dans les piles et les culées (pl. XVIII, page 135). C'est dans ces évidements que viennent se remiser les treuils de manœuvre des rideaux lorsque le barrage est entièrement relevé.

71. Rideaux articulés. — Les rideaux qui constituent la bouchure sont tout à fait analogues à ceux du barrage de Port-Villez, dont nous avons décrit en détail (page 65) le mode de construction et de fonctionnement ; il nous suffira de donner leurs dimensions.

Les cadres ayant une largeur totale, hors fer, de 2 m. 07, la longueur des rideaux est de 2 m. 28. Un espace libre de 0 m. 04 est ménagé entre les abouts de deux rideaux contigus. On arrive ainsi au chiffre déjà cité plus haut, de 2 m. 32 pour la largeur d'un des éléments mobiles du barrage. Les espaces libres ménagés entre les rideaux donnent nécessairement lieu à une légère perte d'eau. Il serait possible de l'éviter au moyen de couvre-joints, mais le débit de la Seine à Poses est suffisant, même en étiage, pour qu'il ne soit pas nécessaire de recourir à cette précaution.

Les lames, en bois de Yellow pine, ont une hauteur con-

stante de 78 millimètres, cependant la lame supérieure de chaque rideau mesure 0 m. 10 de hauteur. Dans la passe considérée, leur nombre est de 65, formant une hauteur totale de 5 m. 22 au-dessus du sabot ; le jeu réservé entre deux lames consécutives est de 2 millimètres. L'épaisseur de la lame supérieure est de 0 m. 04 et celle de la lame inférieure de 0 m. 09. Avec ces dimensions le travail du bois, qui atteint son maximum dans la lame inférieure, ne dépasse pas 60 kilogrammes par centimètre carré.

Nous n'avons pas craint d'exprimer un avis peu favorable à l'emploi des rideaux articulés comme mode de bouchure des barrages mobiles à fermettes (page 79) ; nous devons dire qu'ici leur emploi nous paraît beaucoup mieux justifié, par ce qu'il n'est plus nécessaire d'enlever les rideaux à chaque manœuvre d'ouverture du barrage. Le niveau du tablier d'amont est, en effet, tel que les rideaux enroulés peuvent aisément se loger en dessous lorsque les cadres sont relevés. C'est donc seulement quand ils sont à réparer ou à remplacer que les rideaux doivent être enlevés au moyen d'une grue circulant sur une voie spéciale.

72. Manœuvres. — Il est, maintenant, très facile de se rendre compte des opérations à faire pour la manœuvre du barrage, c'est-à-dire pour la manœuvre d'un cadre. Supposons d'abord qu'il s'agisse de l'ouverture du barrage, soit du relevage d'un cadre.

Le rideau articulé aura été préalablement enroulé au moyen d'un treuil circulant sur la passerelle mobile. Le treuil de manœuvre des cadres est alors mis en place sur la voie d'amont du tablier d'amont.

A Poses on trouve divers treuils de manœuvre des cadres : 1^o treuil à main disposé de telle sorte que deux hommes agissant sur les manivelles puissent produire un effort de 5.000 kilogrammes à la circonférence des poulies à empreintes, sur lesquelles passent les chaînes de relevage ; 2^o treuil à vapeur ; 3^o depuis 1896, treuil électrique.

Le treuil est donc en place ; on laisse filer les chaînes ; les barragistes placés sur la passerelle mobile les attirent et les rassemblent avec celles qui sont fixées au cadre. Les panneaux correspondants de la passerelle mobile sont ensuite relevés et accrochés au cadre. Le treuil de manœuvre des cadres est alors mis en marche. Lorsque le cadre est complètement relevé on l'accroche au tablier au moyen de ses propres chaînes ; celles du treuil sont détachées et le treuil peut être conduit vers un autre cadre.

S'il s'agit de la fermeture du barrage, c'est-à-dire de la descente d'un cadre, les opérations s'effectuent en ordre inverse.

Pour la passe considérée, la durée moyenne, en minutes, de la manœuvre des cadres serait :

Avec le treuil à main, relevage 30 m. 00, descente 10 m. 50 ;
Avec le treuil à vapeur, relevage 13 m. 50, descente 9 m. 50.

L'emploi du treuil électrique a permis de réaliser une nouvelle accélération dans les manœuvres.

On s'est demandé ce qui arriverait si des corps flottants ou des glaçons, survenus inopinément, venaient se masser contre le barrage et s'opposaient au relèvement des cadres, relèvement qui ne peut se faire normalement que de l'aval vers l'amont, c'est-à-dire en refoulant les obstacles. Si l'on en croit une brochure ¹ distribuée au Congrès international de navigation, tenu à Paris en 1900, l'expérience aurait démontré que cette éventualité ne présentait pas du tout les périls redoutés. Quoi qu'il en soit de la réalité du danger en pareille occurrence, les dispositions du barrage de Poses permettent d'y parer.

Les coussinets qui reçoivent les abouts des arbres d'arti-

1. Voici le titre complet de la brochure : *Notice sur les nouveaux types de barrage (système Caméré) appliqués sur la Basse-Seine, entre Paris et Rouen, pour y réaliser un mouillage de 3 m. 20 ; manière dont ils se sont comportés en temps de crues, de glaces, etc... depuis leur mise en service.*

culation des cadres ne sont pas fixes, mais mobiles dans des glissières verticales. Leur position peut être réglée au moyen de tiges de suspension, au nombre de quatre pour chaque cadre. Il ne nous est pas possible d'entrer ici dans l'examen des dispositions de détail de ces divers organes ; le point essentiel est que la longueur des glissières permet de remonter chaque cadre assez haut pour qu'il puisse se dégager des heurtoirs contre lesquels il bute du pied. Si donc on était surpris, on pourrait soulever tout le barrage, élément par élément, et lui permettre de décrire, non plus de l'aval vers l'amont, mais de l'amont vers l'aval, et sous l'action même de la retenue, la rotation nécessaire à l'écoulement des corps flottants et des glaces.

Le soulèvement des cadres se fait au moyen d'un vérin spécial monté sur un chariot qui peut circuler sur la voie établie à cet effet sur le tablier d'aval (pl. XVIII, page 135).

§ 2

AUTRES APPLICATIONS APPRÉCIATION DU SYSTÈME

73. Barrage du Rhône, à Genève. — Le barrage du Rhône, à Genève, offre un exemple de barrage à pont supérieur d'autant plus intéressant que ses dispositions diffèrent complètement, sur beaucoup de points essentiels, de celles que nous venons de décrire. Le but de cet ouvrage est de permettre les manœuvres d'eau nécessaires pour maintenir constamment le niveau du lac entre les cotes P. N¹ — 1,30 et P. N — 1,90, conformément aux conventions intercantionales. L'amplitude extrême des variations du niveau de la retenue ne dépasse donc pas 0 m. 60.

1. P. N., *pièce à Niton*, nom d'un rocher qui se trouve dans le port de Genève et dont le sommet sert de repère.

L'encaissement du fleuve entre le quai des Bergues et la machine hydraulique nécessitait un écoulement libre, et, par suite, un barrage mobile dont le seuil a dû être placé à la cote P. N — 4,50. D'autre part, les besoins de la circulation exigeaient la construction d'une passerelle pour piétons entre le quai et la machine. Il a suffi d'accoler à la passerelle pour piétons, en amont, une passerelle de service de 4 m. 70 environ de largeur pour constituer presque sans frais le pont supérieur.

Etant donnée la faible amplitude des variations du niveau de la retenue, la passerelle de service a pu être établie au-dessus des plus hautes eaux, comme le tablier de l'ouvrage auquel elle est accolée ; elle est fixe. C'est à elle que sont attachés les rideaux articulés qui forment la bouchure et qu'ils restent suspendus lorsqu'ils sont complètement enroulés. Les cadres sur lesquels ils s'appuient lorsqu'ils sont déroulés, sont mobiles autour d'un arbre inférieur et se couchent sur le radier lors de l'ouverture du barrage ; cela ne saurait avoir d'inconvénients car on connaît l'immuable limpidité des eaux du Rhône à Genève.

Les cadres se composent essentiellement de deux montants verticaux distants de 4 m. 16 d'axe en axe, et les montants voisins de deux cadres consécutifs sont également distants de 4 m. 16 d'axe en axe. Chaque montant est divisé en deux, longitudinalement, par une nervure médiane ; de cette manière, 20 cadres suffisent pour supporter 39 rideaux.

Les cadres sont attachés, à leur partie inférieure, par des tourillons, à de robustes bâtis en fer noyés dans le radier ; ils sont retenus, à leur extrémité supérieure, par des butoirs en fer forgé fixés à la passerelle de service, qui se manœuvrent comme des leviers et sont disposés de manière à assurer toute sécurité.

Les rideaux ont 4 m. 12 de largeur et 3 m. 345 de hauteur totale. Les lames, au nombre de 40, sont en mélèze ; elles ont une hauteur constante de 0 m. 078 et une épaisseur variable de 0 m. 05 à 0 m. 08.

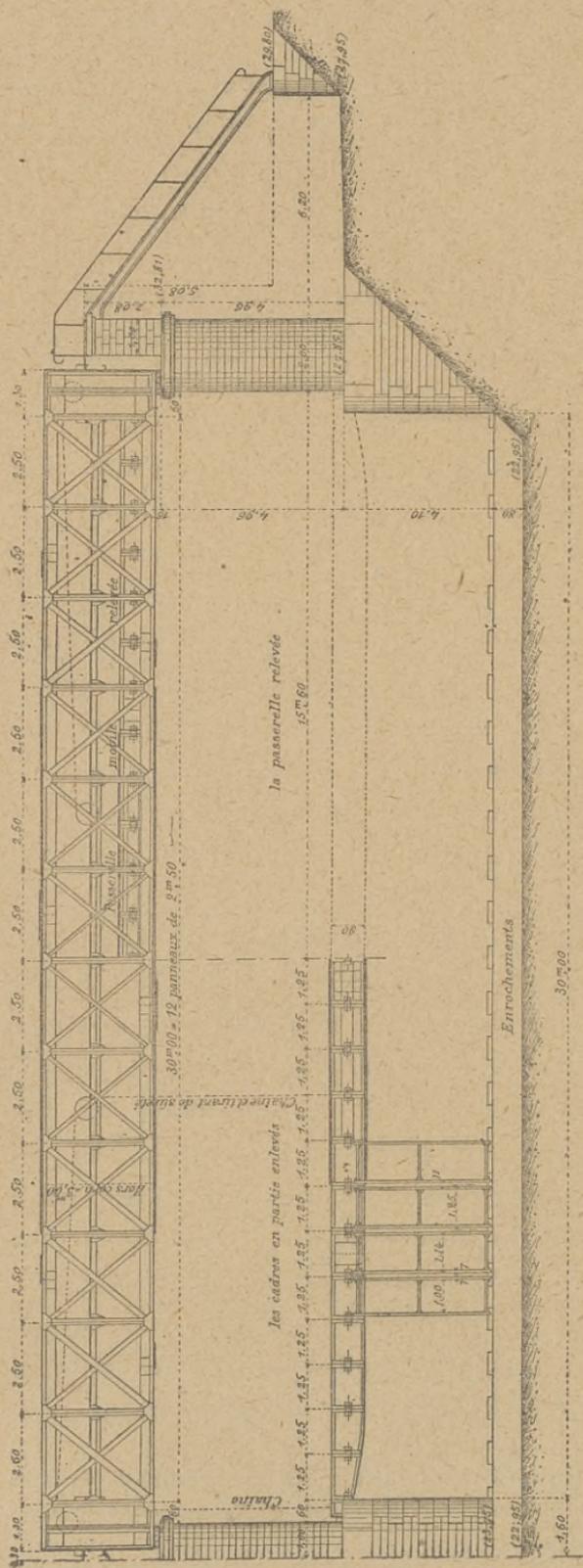
Toutes les manœuvres, tant pour enrouler et dérouler les rideaux que pour coucher les cadres sur le radier et les relever, se font au moyen d'un treuil unique circulant sur une voie de 0 m. 70 portée par la passerelle de manœuvre.

74. Barrages de l'Oise. — L'Oise canalisée est une des voies navigables les plus fréquentées du réseau français ; le tonnage moyen, ramené à la longueur entière, s'y est élevé, en 1899, à 3.159.028 tonnes. Les ouvrages au moyen desquels on peut faire face à un trafic aussi important présentent toujours un intérêt spécial ; aussi croyons-nous devoir donner ici, bien que la sanction de l'expérience fasse encore défaut, quelques renseignements ¹ sur les barrages à pont supérieur adoptés en dernier lieu sur l'Oise pour remplacer les ouvrages existants. Les deux premiers achevés, ceux de Creil et de l'Isle-Adam, n'ont été mis en service que dans les derniers mois de l'année 1901 ; ils ne présentent entre eux que des différences peu importantes ; c'est au premier des deux que se rapportent les diverses dimensions mentionnées ci-après.

La retenue normale du barrage de Creil est à l'altitude (26,90). Le tablier du pont supérieur, fixe, à poutres droites indépendantes, laisse une hauteur libre de 4 mètres environ au-dessus des hautes eaux de navigation cotées (28,90) ; il comprend trois travées de 31 m. 20 entre les parties supérieures des piles et culées (pl. XX, page 146). Le soubassement de chaque pile et celui de la culée droite, arasés à 1 mètre environ au-dessus de la retenue normale, sont en saillie de 0 m. 60 ; d'autre part, l'écluse accolée au barrage est établie sous la travée de gauche où elle occupe, avec son terre-plein de rive et son bajoyer du large, une largeur totale de 17 m. 40. En définitive, on rencontre, en allant de

1. Nous devons ces renseignements à l'obligeance de M. l'inspecteur général Derôme, auquel nous renouvelons ici l'expression de nos remerciements bien sincères.

ÉLEVATION D'ENSEMBLE



Pl. XX. BARRAGE DE CREIL. — PASSE DE RIVE DROITE

la rive gauche à la rive droite : un pertuis de 13 m. 20 ayant son radier à l'altitude (22,95) et deux passes de 30 mètres ayant leur radier à l'altitude (23,75). Nous nous occuperons d'abord des passes.

Au-dessous du tablier du pont fixe se trouve une passerelle mobile ; c'est avec cette dernière que s'articulent, à leur partie supérieure, les cadres qui butent du pied contre des heurtoirs en saillie sur le radier, et qui supportent la bouchure constituée par des vannettes à roulement sur billes.

La passerelle mobile est formée de deux poutres verticales de 0 m. 90 de hauteur, supportant les charges verticales, et entretoisées par une poutre horizontale de 2 m. 50 de largeur hors cornières destinée à résister aux poussées que lui transmettent les cadres. La poutre horizontale porte un platelage dont la face inférieure est au niveau du couronnement du souassement des piles et de la culée de droite (27,85), et une voie ferrée de 0 m. 80 de largeur, sur laquelle peuvent circuler des wagonnets servant au transport du matériel, ainsi qu'une grue roulante destinée à la manœuvre des cadres.

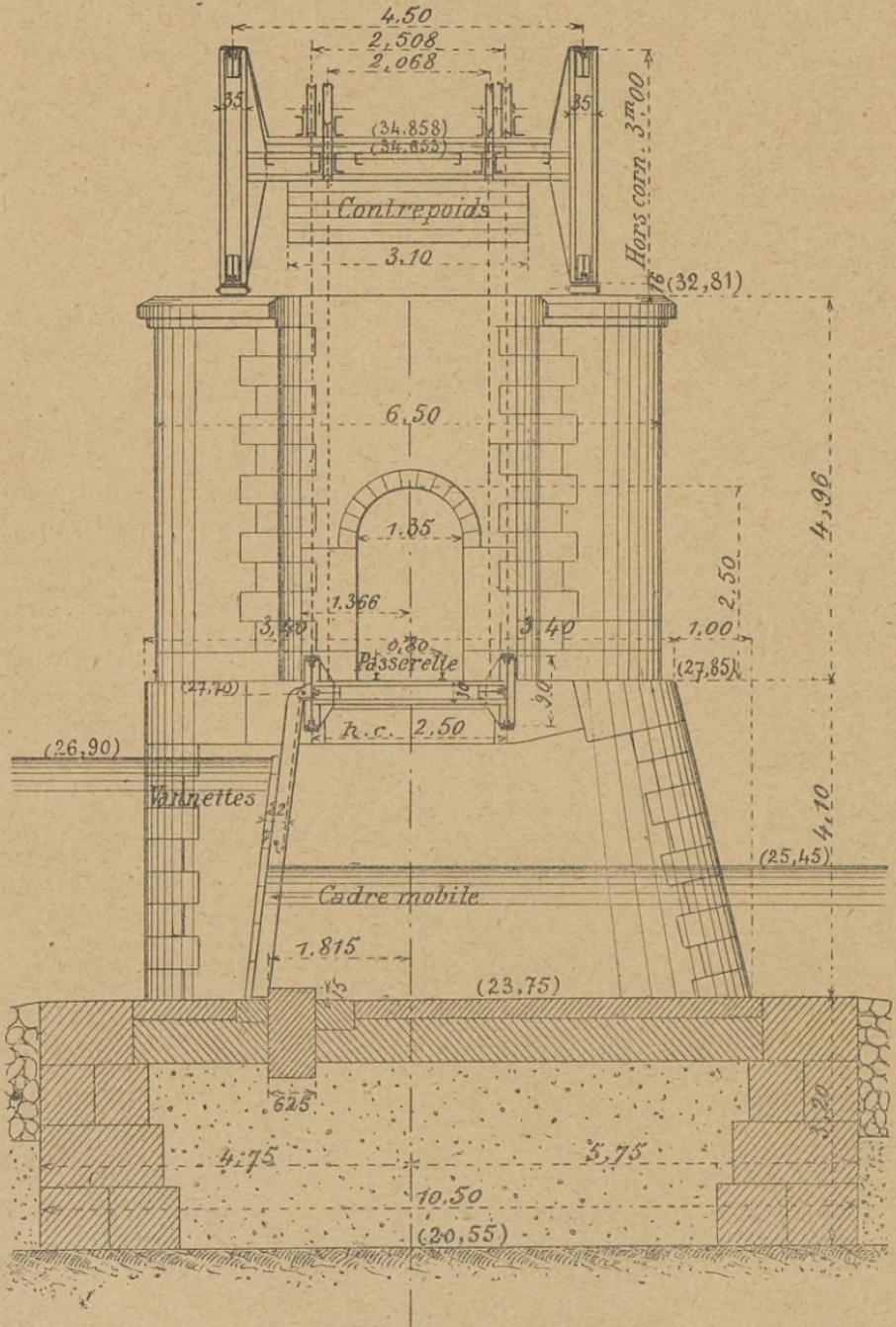
La passerelle est suspendue au pont supérieur par des chaînes qui passent sur des poulies de renvoi fixées à ce pont. Des contrepoids font équilibre à la dite passerelle dans toutes ses positions, et permettent de la lever ou de l'abaisser sans avoir à vaincre d'autres efforts que la raideur des chaînes et les frottements de toute nature.

Lorsque la passerelle repose sur ses appuis (pl. XX et pl. XXI, page 148), elle est en outre reliée directement au pont supérieur par des tirants de sûreté qui doublent les chaînes de suspension et peuvent les suppléer au besoin.

En temps de crue, lorsque la passerelle est relevée (pl. XX et pl. XXII, page 149), elle est amarrée directement au pont supérieur à l'aide de chaînes spéciales de faible longueur qui doublent alors les chaînes de suspension en remplacement des tirants de sûreté.

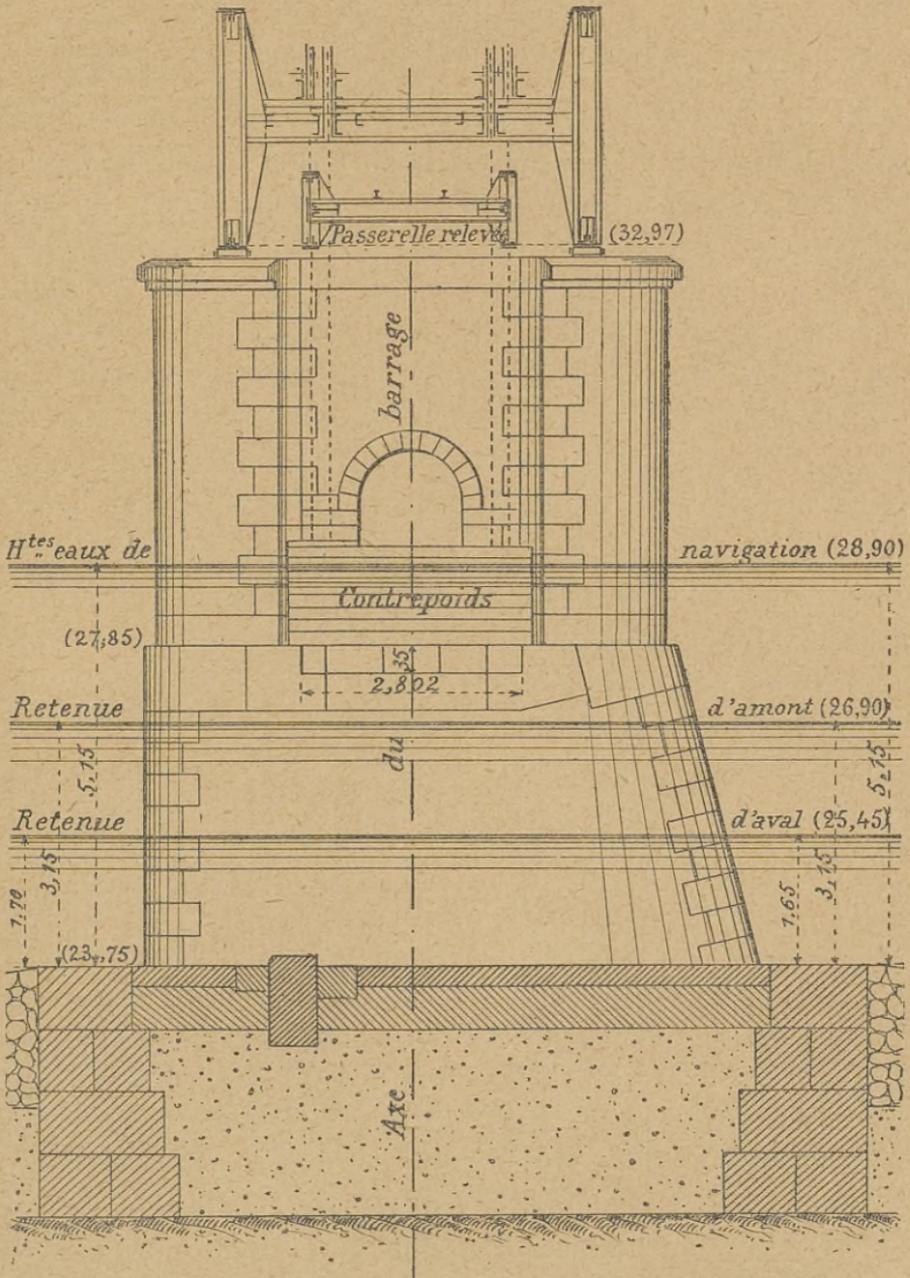
Les cadres dont la longueur totale, de l'axe d'articulation

COUPE TRANSVERSALE



Pl. XXI. BARRAGE DE CREIL. — PASSE FERMÉE

COUPE TRANSVERSALE



Pl. XXII. BARRAGE DE CREIL. — PASSE OUVERTE

supérieur au pied, est de 3 m. 963, sont composés de deux montants en fers en \sqcup de $\frac{220 - 70}{40}$ reliés par trois traverses également en fers en \sqcup , mais de $\frac{160 - 65}{7}$ seulement. Ils mesurent 1 m. 14 de largeur hors fer et l'intervalle de l'un à l'autre est de 0 m. 11 ; la largeur totale de l'élément est donc de 1 m. 25 et la passe comporte 24 cadres. Lorsqu'on veut ouvrir le barrage, la bouchure une fois enlevée, les cadres sont relevés horizontalement au moyen de la grue roulante dont nous avons parlé plus haut, détachés de leurs paliers de suspension, mis sur wagonnets et emportés au magasin.

Longues de 1 m. 066, hautes de 0,420 et épaisses de 0 m. 047, les vannettes qui constituent la bouchure sont, pour ainsi dire, identiques à celles que nous avons décrites plus haut (page 74) ; nous n'y reviendrons pas. Nous mentionnerons seulement la suppression des galets de guidage et leur remplacement par des appendices de guidage venus de fonte, chacun avec la bride d'un des galets de roulement, et affectant la forme d'un segment sphérique. Chaque cadre porte six vannettes à galets surmontées d'une septième sans galets constituée par une simple planche de même longueur, mais ayant seulement 0 m. 230 de hauteur et 0,025 d'épaisseur. Les intervalles de 0 m. 110 entre deux cadres consécutifs, qui pourraient donner lieu à d'importantes déperditions d'eau, sont bouchés au moyen d'aiguilles couvre-joints de 0 m. 140 de largeur sur 0 m. 035 d'épaisseur.

Le pertuis de 13 m. 20 de largeur, qui se trouve sous la travée de rive gauche, comporte une passerelle mobile constituée d'une façon tout à fait analogue à celles des passes et suspendue de même au pont supérieur ; les cadres et la bouchure, au contraire, sont complètement différents. Le pertuis ne comporte que *trois* cadres ; chaque élément du barrage a donc une largeur de 4 m. 40. La largeur des cadres est de 4 m. 30 hors fer et la distance de l'un à l'autre de 0 m. 10. Ils se composent de deux montants, formés chacun d'un fer en I de

$\frac{400 - 150}{12.5}$ renforcé par deux plates-bandes de 150 — 20, et réunis l'un à l'autre par trois traverses en fer en \perp de $\frac{220 - 70}{10}$.

Ces cadres sont manœuvrés au moyen de treuils établis sur le pont supérieur, parallèlement et au droit de chaque cadre. A raison de leurs dimensions et de leur poids, on ne saurait les transporter au magasin quand on les enlève pour ouvrir complètement le barrage ; on les dépose à plat sur un ponton amarré à l'amont.

Longues de 4 m. 20, hautes de 0 m. 530, les vannes se composent d'une ossature métallique de 0 m. 20 d'épaisseur et d'un bordage de 0 m. 040. Chacune d'elles est munie de quatre galets de roulement et seulement de deux galets de guidage. A raison de leurs dimensions et de leur poids, elles ne sont plus manœuvrables à la main ; elles doivent être manœuvrées au moyen des mêmes treuils que les cadres. A cet effet, chaque vanne porte extérieurement, sur chacun de ses abouts et à peu de distance de son sommet, un axe légèrement conique pris dans l'œil d'une tige de suspension. Cette tige sera placée et maintenue de manière à pouvoir s'engager, malgré le jeu latéral des vannes, dans le vide compris entre deux cadres consécutifs (pl. XXIII, page 153).

A leur extrémité supérieure, ces tiges seront retenues par des crochets fixés sur la poutre verticale amont de la passerelle mobile, de manière à se trouver étagées dans un même plan vertical, la tige de la vanne supérieure aboutissant au crochet le plus élevé, celle de la vanne inférieure au crochet le plus rapproché du niveau de la retenue. Pour enlever les vannes, il suffira d'accrocher successivement leurs tiges de suspension à l'extrémité des deux chaînes enroulées sur le tambour du treuil correspondant. Elles seront amenées sur des wagonnets qui les transporteront au magasin et leurs tiges de suspension seront détachées pour être remises à part.

Chaque cadre porte *sept* vannes surmontées d'une poutrelle

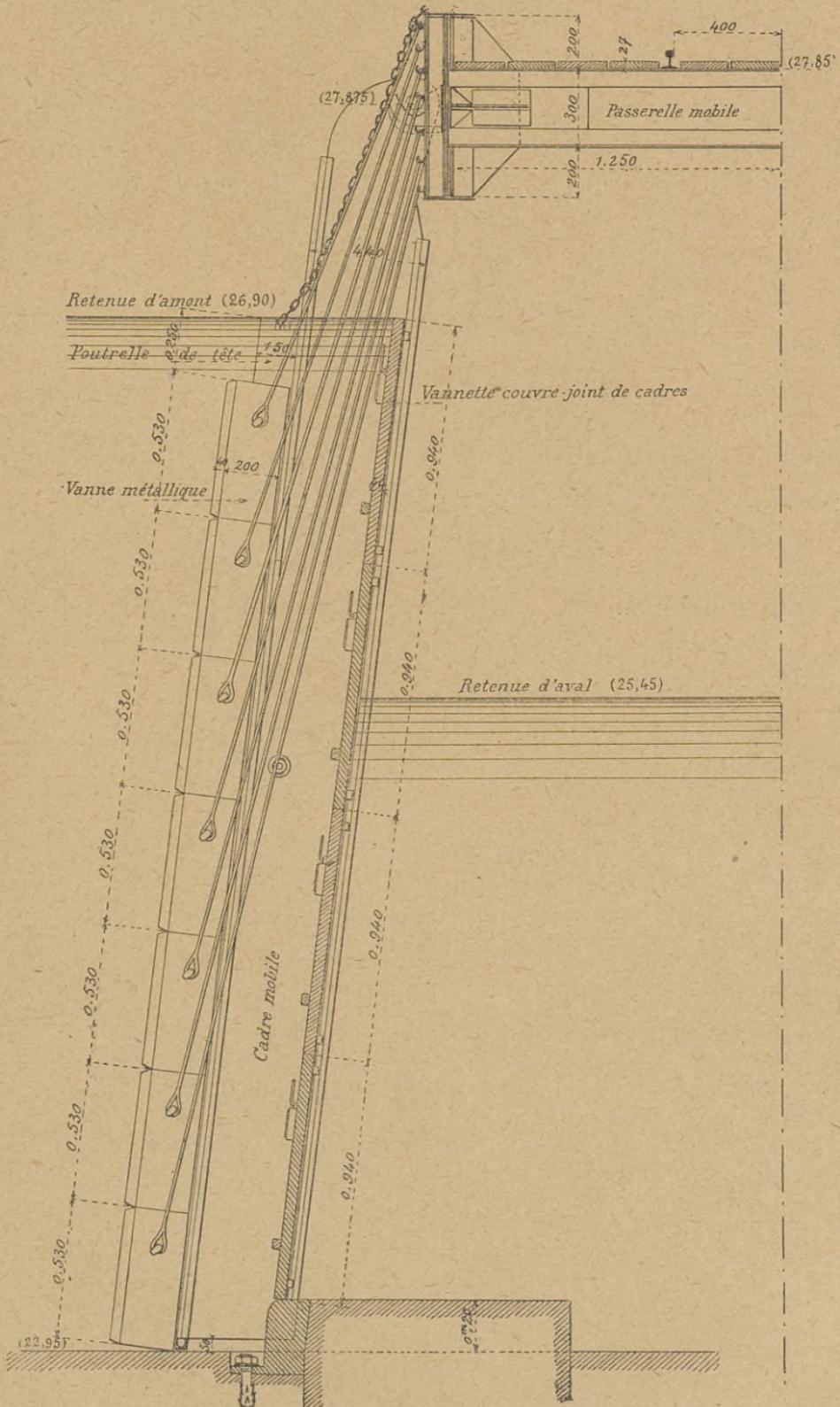
de tête de même longueur que les vannes et de 0 m. 250 de hauteur sur 0 m. 150 d'épaisseur. Quant aux intervalles de 0 m. 400 entre deux cadres consécutifs, ils sont fermés au moyen de vannettes couvre-joints à galets sur billes, hautes de 0 m. 940, larges de 0 m. 203 et épaisses de 0 m. 044.

Nous croyons en avoir dit assez pour donner au lecteur une idée de ce que pourront être les barrages de l'Oise. Aussi bien, la place nous fait-elle défaut pour entrer dans les infinis détails que comporterait une description complète ; et d'ailleurs il manquerait toujours ce qu'on ne pourra avoir avant plusieurs années, la sanction de l'expérience.

A première vue, il est difficile de n'être point frappé de la complication du système, étant surtout donnée la faible hauteur de chute ; mais il faut bien admettre que des considérations très sérieuses ont guidé M. l'inspecteur général Derôme. Une de ces considérations, et non des moindres, est celle des glaces.

Nous avons dit que sur la plupart des rivières canalisées on avait pour règle d'abattre les barrages dès que les glaces faisaient leur apparition et même dès que l'intensité et la persistance du froid faisaient redouter cette apparition. C'est d'ailleurs un fait d'observation que le plus souvent les glaces coïncident avec des eaux basses. Rendre l'Oise à son cours naturel, en pareilles circonstances, ce serait exposer à l'échouage un grand nombre de bateaux en cours de route ; or, sur l'Oise, ces bateaux sont à peu près exclusivement des péniches flamandes très légèrement construites, à plein chargement de houille, à qui l'échouage serait funeste. Dans la pensée de M. Derôme, les retenues pourront être maintenues en temps de glace, en donnant écoulement aux glaçons par le pertuis. Il estime que tous les organes de ses barrages sont à même de fonctionner malgré les gelées et il pense que dans le pertuis ces organes sont assez robustes pour n'avoir rien à craindre du choc des glaçons.

L'essai sera des plus intéressants à suivre ; mais il résulte



Pl. XXIII. BARRAGE DE GREIL. — PERTUIS

déjà d'expériences faites à Creil pendant quatre hivers consécutifs que *les vannes à galets avec roulement sur billes peuvent être manœuvrées sans difficulté, même par les plus grands froids*. Cette constatation ne fait d'ailleurs que confirmer les renseignements fournis par les ingénieurs qui ont imaginé ce système de vannes.

En terminant, nous ne pouvons nous empêcher de remarquer que les barrages à pont supérieur de l'Oise offrent dans l'ensemble, et toute réserve faite du perfectionnement des détails, la plus frappante analogie avec le pont-pertuis de Belombre construit sur l'Yonne par M. Boucher de la Rupelle, il y aura bientôt trois quarts de siècle (voir page 38). Pont supérieur fixe, du haut duquel on soulève, en cas de besoin, au-dessus des plus hautes eaux, un tablier mobile formant l'appui supérieur de la bouchure ; tels sont bien les traits caractéristiques des uns et de l'autre.

75. Appréciation du système. — Des divers ouvrages que nous avons cités ¹ comme spécimens de barrages à pont supérieur, il n'en est pas un, le fait est vraiment piquant, qui ait été établi dans les conditions en vue desquelles le système a été imaginé, c'est-à-dire sur une rivière charriant des quantités considérables de matériaux et notamment des galets assez volumineux pour détériorer les organes mobiles qui resteraient au fond de l'eau pendant les crues.

La Seine et l'Oise sont des rivières à cours paisible où tous

1. Les ouvrages de ce type sont encore peu nombreux, à notre connaissance. Dans la brochure que nous avons déjà citée (page 142), il est fait mention d'un barrage à pont supérieur, construit à Vienne (Autriche), en tête du Donau-Canal, et ayant pour principal objectif l'arrêt des glaces. On peut encore classer parmi les barrages à pont supérieur les ouvrages au moyen desquels sont canalisées diverses rivières comprises dans le *système* ou voie navigable de jonction de l'Obi à l'Iénisséï (Sibérie). Dans ces ouvrages, le pont est en charpente ; de longues élinges en bois s'appuient, du haut contre le tablier du pont, du bas sur le radier ; sur ces élinges glissent des vannes, également en bois.

les autres systèmes de barrage ont fonctionné ou fonctionnent encore sans encombre.

Quant au Rhône, à Genève, sa limpidité est absolue ; aussi, lorsqu'on a arrêté les dispositions du barrage de la machine hydraulique n'a-t-on pas hésité à sacrifier la propriété caractéristique, essentielle des barrages à pont supérieur, qui est de ne rien laisser au fond de l'eau quand le barrage est ouvert. Là, les cadres se couchent sur le radier. Ajoutons encore que là, un ouvrage était indispensable pour la circulation ; il a suffi d'y accoler une petite passerelle pour le service du barrage ; le pont supérieur n'a pour ainsi dire rien coûté, ce qui achève de faire du barrage de Genève un ouvrage tout à fait spécial.

Il n'est pas contestable que les barrages de la Seine, dont celui de Poses est le prototype, fonctionnent d'une façon entièrement satisfaisante et, à vrai dire, il ne saurait en être autrement. Quand on dispose de ponts de service susceptibles de donner passage aux plus lourdes charges, quand on dispose d'engins mécaniques mus par la vapeur ou l'électricité, d'une puissance presque illimitée, on peut n'employer que des organes aussi résistants et aussi étanches que l'on veut et les manœuvrer tout à l'aise. La question est de savoir si ces facilités ne sont pas trop chèrement achetées.

On a évalué le prix de revient du barrage de Poses à 16.536 francs par mètre courant de débouché linéaire ¹ ; mais il est visible que ce chiffre résulte d'une ventilation plus ou moins arbitraire et n'est pas le quotient du total des dépenses réellement faites par le débouché linéaire total. Or, c'est ce quotient seul qu'il importe de connaître.

Dans une très intéressante brochure ², publiée lors du *Congrès international de l'utilisation des eaux fluviales* tenu

1. *Collection de dessins distribués aux élèves de l'École des Ponts et Chaussées*, tome III, page 629.

2. *Le barrage de Suresnes et la canalisation de la Seine entre Paris et Rouen*, par Auguste Boulé, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées ; Paris, 1889, Baudry et C^{ie} éditeurs, rue des Saints-Pères 15.

à Paris en 1889, M. l'inspecteur général Boulé, dont le nom fait autorité en matière de canalisation de rivières, est revenu sur la question. Il a montré qu'à Suresnes, en procédant aussi à une ventilation plus ou moins arbitraire des dépenses, on pouvait faire ressortir le prix de revient du barrage à 10.375 francs par mètre courant de débouché linéaire, en moyenne. Mais si on faisait entrer en ligne de compte toutes les dépenses occasionnées par les ouvrages accessoires tels que les défenses des berges, l'aménagement des parcs à rideaux, etc., qui sont, au même titre que les autres dépenses, une conséquence nécessaire de la construction du barrage, on arrivait à un prix de revient de 14.200 francs par mètre courant. La même méthode appliquée au barrage de Poses faisait ressortir un prix de revient de 28.150 francs par mètre courant de débouché linéaire, en moyenne.

A Poses, la hauteur exceptionnelle de la chute (4 m. 18, 0 m. 91 de plus qu'à Suresnes) peut justifier la solution extrêmement onéreuse qui a été adoptée ; une justification du même genre fait défaut pour les trois autres barrages de la Seine où le même système a été aussi appliqué et où la hauteur de chute est inférieure à 3 mètres ¹.

En résumé, si on a à canaliser une rivière dont le régime est tel qu'il soit impossible de laisser aucun organe mobile au fond de l'eau, en temps de crue, le barrage à pont supérieur peut être la solution nécessaire. Il peut constituer une solution avantageuse si les circonstances permettent d'utiliser pour le service du barrage un pont qui existe déjà ou dont la construction est indispensable à d'autres points de vue. En dehors de ces deux cas, nous pensons que l'établissement de barrages à pont supérieur ne peut, à raison de l'élévation de la dépense, être justifié que dans des circonstances tout-à-fait exceptionnelles.

1. Barrages de Meulan, de Méricourt et de Port-Mort, dont les chutes sont respectivement de 4 m. 76, 2 m. 50 et 2 m. 65.

CHAPITRE IV

BARRAGES MOBILES A HAUSSES

§ 1. *Premiers essais.* — § 2. *Description générale du barrage Chanoine.*
— § 3. *Hausse.* — § 4. *Chevalet et arc-boutant avec leurs accessoires.*
— § 5. *Parties fixes. Appréciation du système.* — § 6. *Modification du barrage Chanoine. Système Pasqueau.*

§ 1.

PREMIERS ESSAIS

76. Différence essentielle entre ces ouvrages et les précédents. — Dans les barrages que nous avons étudiés jusqu'ici, chaque passe est *effectivement* divisée en pertuis plus ou moins nombreux par les fermettes ou les cadres, et les engins mobiles se divisent en deux groupes bien distincts : 1^o la bouchure, aiguilles, vannes ou rideaux articulés, dont l'enlèvement hors de l'eau fait l'objet d'une première manœuvre lorsqu'on veut ouvrir le barrage ; 2^o les appuis de la bouchure qui, par une seconde manœuvre, tantôt se couchent au fond de la rivière, tantôt se rattachent à une poutre supérieure. Ces deux opérations demeurent toujours indépendantes.

Dans les barrages que nous allons examiner maintenant, au contraire, la division en pertuis n'est plus effective ; tout se tient et, lorsqu'on veut ouvrir les barrages, une manœuvre unique fait disparaître simultanément pour les coucher sur le

radier, les panneaux ou vannes appelés *hausse*s et leurs appuis reliés intimement les uns aux autres.

77. Barrages Thénard sur l'Isle. — Des hausses mobiles ont été, dès 1839, employées sur l'Isle, affluent de la Dordogne, par M. l'ingénieur en chef Thénard pour diminuer la hauteur des barrages fixes ou augmenter au besoin celle des retenues. Les dispositions adoptées par lui dans ce but peuvent se résumer comme il suit.

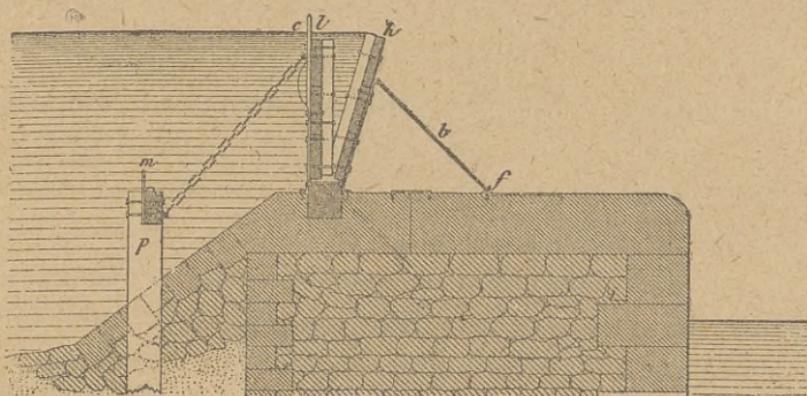
La partie fixe du barrage est dérasée de niveau ; dans les pierres de taille qui constituent le couronnement est encastrée une pièce de bois longitudinale. En amont du barrage, et un peu plus bas que le couronnement, règne une lierne, pièce de bois parallèle à la précédente, boulonnée sur des pieux enfoncés dans l'avant-radier (pl. XXIV).

A la première sont attachées, par des charnières, d'une part des hausses *h* et d'autre part des contre-hausses *c*, un peu moins hautes que les hausses. Ces dernières sont maintenues contre la pression de l'eau par des jambes de force *b* buttant du pied contre des arrêts *f* scellés dans le couronnement du barrage.

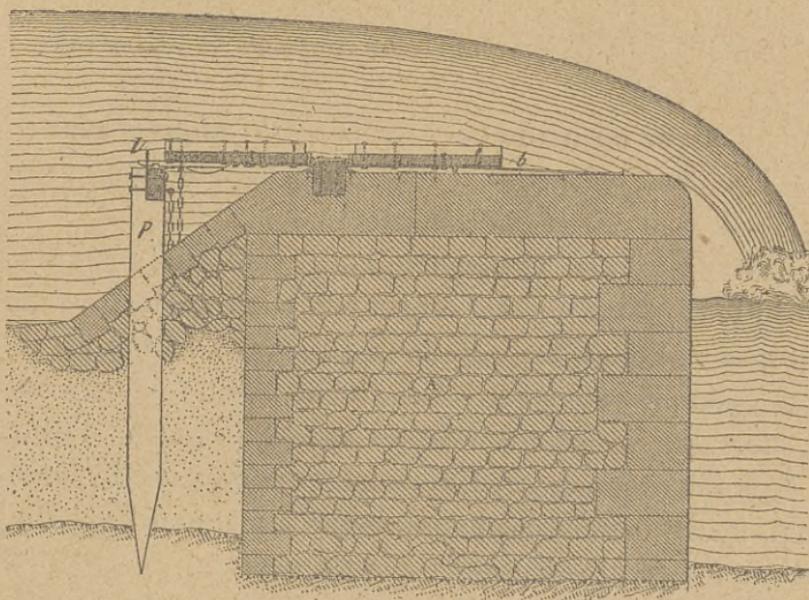
Les contre-hausses, au contraire, sont maintenues levées par une chaîne à deux branches, lorsque la pression de l'eau les pousse ; habituellement, elles demeurent couchées et retenues à la lierne par des loquets *l* placés à leur extrémité supérieure.

En amont de la ligne des arrêts règne, sur le couronnement du barrage et sur toute sa longueur, une barre de fer maintenue par des guides, susceptible cependant de prendre un mouvement de va-et-vient normalement au cours de l'eau. Elle porte, sur sa face d'aval, des redans ou talons ; d'où son nom de *barre à talons*. Les talons, dont l'espacement est supérieur de 0 m. 05 à celui des hausses, mesuré d'axe en axe, sont disposés de manière à accrocher latéralement les jambes de force, lorsqu'on appelle à soi la barre, et à les faire échap-

COUPE TRANSVERSALE (HAUSSES LEVÉES)



COUPE TRANSVERSALE (HAUSSES ABATTUES)



per de leur arrêt. Le soutien manquant ainsi, les hausses s'abaissent successivement à partir de l'une des extrémités, à mesure que la barre a marché de 0 m. 05, 0 m. 10, 0 m. 15, etc. Sur la lierne d'amont, une autre barre analogue lâche successivement les loquets qui tiennent les contre-hausses fermées.

Pour manœuvrer ces hausses et contre-hausses supposées rabattues, les premières dans le sens du courant, les secondes contre le courant, on actionne d'abord la barre à talons d'amont à l'aide d'un cric placé dans la culée. On dégage ainsi les contre-hausses qui, par leur relèvement spontané sous l'action du courant, suspendent l'écoulement de l'eau et provoquent le relèvement du niveau du bief. Immédiatement, des ouvriers descendent sur le barrage et dressent à la main les hausses qu'ils appuient sur leurs jambes de force et leurs arrêts, en demeurant sous l'abri des contre-hausses. Aussitôt que la retenue est tendue au niveau des hausses, les contre-hausses, qui n'ont plus d'effort à supporter, retombent sur la lierne où elles se fixent par leurs loquets et le barrage est tendu.

Pour l'effacer on manœuvre la barre à talons d'aval ; les hausses tombent, sans que les contre-hausses, toujours prisonnières, puissent se relever et l'écoulement est libre.

Les barrages de M. Thénard, tout en ayant rendu des services sur l'Isle, n'ont pu se vulgariser, parce qu'ils ne répondaient pas à toutes les sujétions qu'impose le besoin d'un niveau à peu près constant. Ainsi, au moment du déclin d'une crue, alors que la rivière débitant encore beaucoup d'eau, le bief d'amont commençait à descendre au-dessous du niveau normal, le relèvement des hausses était à peu près impossible, parce que les contre-hausses ne protégeaient pas assez longtemps les ouvriers pour qu'ils eussent le temps de mettre les hausses sur leurs appuis. On était forcé, pour assurer le succès de la manœuvre, de laisser baisser la rivière au-dessous du niveau nécessaire à la navigation.

D'autre part les contre-hausses se relevant violemment au

courant, ébranlaient le barrage et arrachaient leurs pieux d'attache.

Bref, d'après M. Mary, le système employé n'aurait eu d'autre résultat qu'une réduction de 0 m. 40 dans la hauteur du barrage fixe et c'était là un effet utile trop minime.

78. Barrage de Courbeton. — Guidé par les conseils de M. l'inspecteur général Mesnager, M. l'ingénieur en chef Chanoine imagina, en 1850, d'emprunter à M. Thénard ses hausses et de substituer aux contre-hausses un barrage mobile du système de M. Poirée. C'est à l'aide de ce dernier qu'il supportait d'abord la retenue, comme on le faisait sur l'Isle avec les contre-hausses. Cependant deux hommes, placés sur la passerelle, relevaient les hausses tandis que d'autres ouvriers, descendus sur le radier, appuyaient les jambes de force contre leur arrêt. Une fois la retenue reportée sur les hausses on enlevait les aiguilles, on couchait les fermettes et le barrage à hausses restait seul en service, susceptible d'être brusquement abattu au moyen de la barre à talon.

Telle fut la combinaison appliquée à Courbeton, sur la Seine immédiatement à l'amont de Montereau. Elle était complétée par une courte dérivation ouverte de l'amont à l'aval du barrage, par laquelle les eaux du bief supérieur pouvaient s'écouler lorsque la retenue dépassait un certain niveau. Ces eaux mettaient alors en mouvement une petite roue hydraulique commandant la barre à talons ; les hausses devaient donc être abattues dès qu'il y aurait trop-plein ; la manœuvre du barrage devenait ainsi automatique.

§ 2.

DESCRIPTION GÉNÉRALE DU BARRAGE CHANOINE

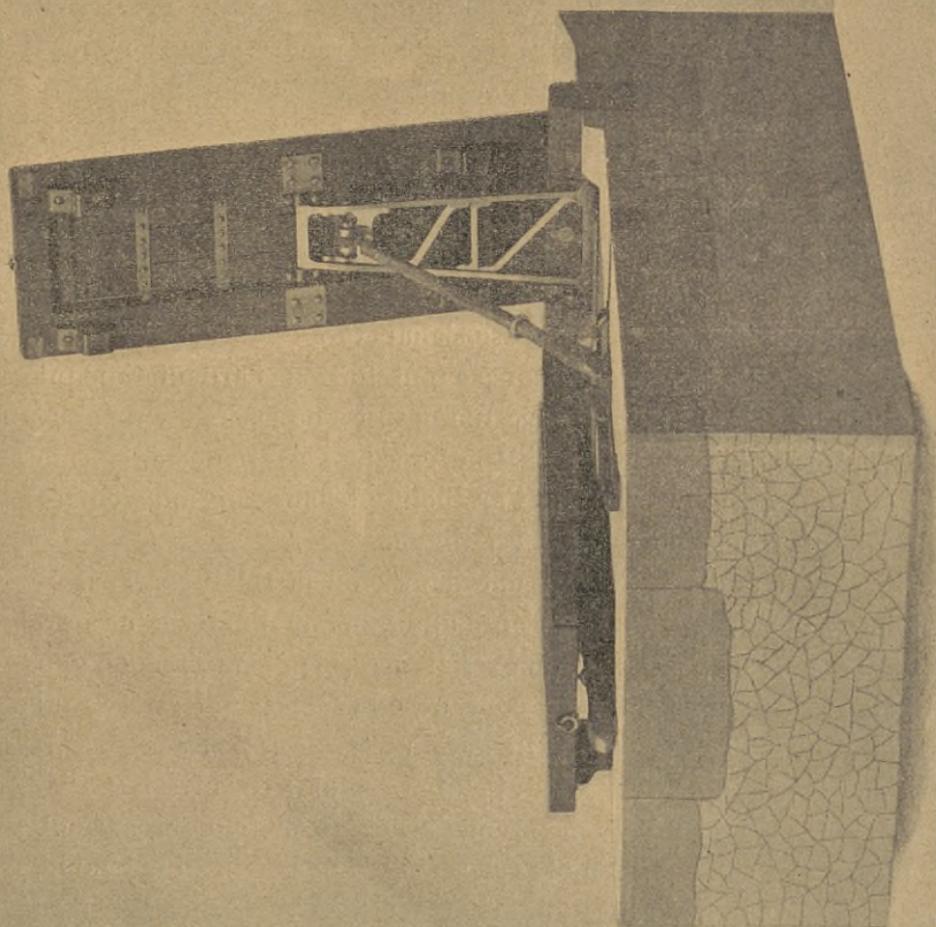
79. Hausse, chevalet, arc-boutant. — C'est en 1857, au barrage de Conflans sur la Petite-Seine ¹, que M. Chanoine réalisa pour la première fois l'ingénieux système qui porte son nom et qui a reçu des applications si nombreuses qu'il marche presque de pair, dans la pratique, avec le système Poirée. La planche XXV est une reproduction d'un modèle de l'Ecole des Ponts et Chaussées ². Il nous a paru qu'en l'ayant sous les yeux, le lecteur suivrait avec plus de facilité la description générale ci-après.

La vanne ou *hausse* destinée à soutenir les eaux, au lieu d'être mobile autour de sa base, tourne autour d'un axe horizontal placé aux environs du centre de pression, entre le tiers et la moitié de sa longueur à partir de l'extrémité inférieure. Lorsqu'elle est debout, elle s'appuie par le bas sur un seuil fixé au radier ; c'est le cas de la hausse de droite dans la planche XXV. Tant que l'eau est basse, la pression qui s'exerce sur la *culasse* ou partie inférieure domine la pression qui s'exerce sur la *volée* ou partie supérieure, et la hausse reste debout. Si, au contraire, le niveau s'élève assez pour que la volée, qui est toujours plus longue que la culasse, devienne la plus chargée, la hausse bascule et s'évite au courant, en ouvrant à l'eau le passage qu'elle fermait précédemment.

Toutefois, si la hausse demeurait là, le problème ne serait qu'à moitié résolu, puisque la position qu'elle occupe ferme

1. On appelle ainsi la portion du fleuve comprise entre Montereau, à l'aval, et le confluent de l'Aube, à Marçilly, à l'amont.

2. Ce modèle est celui des hausses du barrage d'Ablon, sur la Seine, telles qu'elles ont été reconstruites en 1881 ; il montre les hausses Chanoine avec les derniers perfectionnements qui y ont été apportés.



Pl. XXV. MODÈLE DES HAUSSES CHANOINE DU BARRAGE D'ABLON.

encore le passage aux bateaux, aux trains de bois, aux corps flottants. M. Chanoine a imaginé de placer l'arbre horizontal autour duquel peut tourner la hausse au sommet d'une sorte de compas dont l'une des branches (celle d'aval), nommée *béquille* ou *arc-boutant*, vient buter du pied contre un arrêt, tandis que l'autre (celle d'amont), appelée *chevalet*, est articulée sur le radier par son extrémité inférieure. Tous les arcs-boutants sont commandés par une barre à talons analogue à celles du barrage Thénard.

80. Manœuvres d'abatage et de relevage. — Dès lors, si, à l'aide de la barre à talons, on fait échapper la béquille de son arrêt, le compas sous la pression de l'eau s'ouvre de lui-même à 180° , la hausse s'abat et tout le système s'aplatit sur le radier, retenu en place toutefois par l'articulation qui fixe le pied du chevalet ; c'est la position de la hausse de gauche dans la planche XXV. Une glissière en fonte, de forme spéciale, guide d'ailleurs l'arc-boutant dans son mouvement qui n'est pas absolument rectiligne.

Lorsqu'on veut relever une hausse on la saisit par l'extrémité de la culasse au moyen d'une gaffe ou d'une chaîne préalablement fixée. Par une traction dirigée vers l'amont, qui laisse la hausse évitée au courant, on redresse le chevalet qui tourne autour de son articulation avec le radier, en entraînant avec lui l'arc-boutant. Celui-ci remonte en suivant la glissière, gravit un plan légèrement incliné et retombe sur son arrêt. Le compas est alors refermé et dans une position stable, la hausse demeurant toujours en bascule c'est-à-dire évitée au courant.

Il suffit, à ce moment, d'un coup de gaffe sur la culasse ou d'une légère traction exercée à l'extrémité de la volée, pour que la hausse se redresse d'elle-même, son axe de rotation étant placé, par hypothèse, dans une situation telle que pour la retenue normale et, *a fortiori*, pour des niveaux inférieurs, la pression de l'eau est toujours plus grande sur la culasse

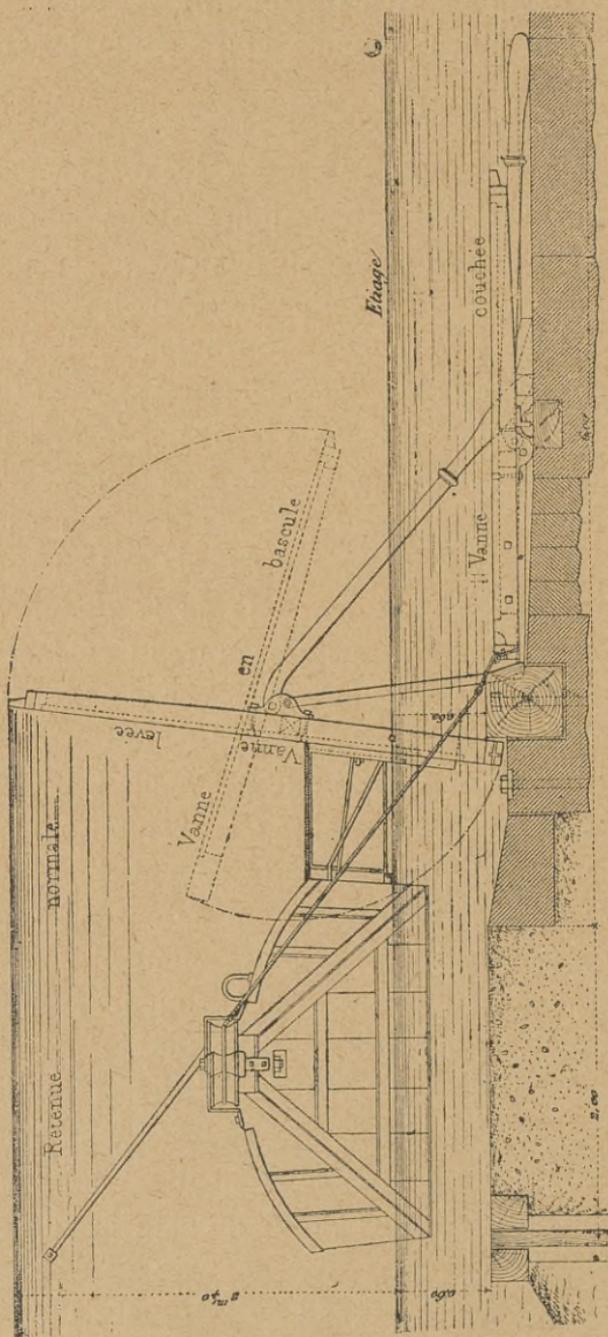
que sur la volée. La portion de passe correspondant à cet élément se trouve ainsi fermée ; il suffit de répéter l'opération autant de fois qu'il y a d'éléments pour que le barrage soit relevé.

81. Bateau de manœuvre. — Suivant les conceptions de M. Chanoine, toutes les opérations nécessaires pour le relevage des hausses se font d'un bateau placé en amont du barrage, parallèlement à la direction de celui-ci, et s'appuyant sur les dernières hausses relevées pour attaquer la suivante. On conçoit, en effet, que quelques hausses peuvent toujours avoir été relevées d'abord, soit de la rive, soit du bateau de manœuvre amarré aux parties fixes du barrage.

Le bateau porte un treuil, et tout à fait à son extrémité antérieure une poulie de renvoi. Le plan de cette dernière est susceptible de s'orienter à la demande de la chaîne de manœuvre dont une extrémité est fixée au treuil et dont l'autre s'attache à la culasse de la hausse à relever, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un crochet de traction et d'une poignée *ad hoc*. Il suffit de virer au treuil pour exercer sur la hausse l'effort de traction nécessaire à la manœuvre.

On conçoit aisément que les points d'appui du bateau sur les hausses doivent être assez bas pour ne pas déterminer le basculement de ces dernières, aussi ces points d'appui sont-ils pris au moyen d'armatures en fer fixées au flanc du bateau et disposées à cet effet (pl. XXVI, page 466). Ces armatures doivent encore tenir le bateau à une distance des hausses suffisante pour que la poulie de renvoi occupe la position la plus favorable au point de vue de la facilité des manœuvres. Enfin elles sont utilisées pour porter un plancher de service.

82. Essais de manœuvres automatiques. — En résumé, une crue arrivant subitement au barrage pouvait mettre d'elle-même les hausses en bascule et s'écouler. Si on voulait livrer le passage complet, quelques tours d'un cric



Pl. XXVI. BATEAU DE MANOEUVRE

actionnant la barre à talons permettaient d'abattre presque instantanément tout le système sur le radier. Quant au relevage, il était un peu plus long, mais grâce à des dispositifs bien appropriés, l'opération pouvait s'effectuer encore assez rapidement.

M. Chanoine a voulu aller encore plus loin, au moins en ce qui concerne les passes peu profondes, dites *déversoirs*, qui devaient servir principalement à l'écoulement des eaux et remplir l'office des longs déversoirs fixes que M. Poirée accollait à ses barrages. Pour ces passes, il a cherché à réaliser un mode de fermeture absolument automatique. Dans les projets primitifs, adoptés en 1859 et 1860 pour les barrages de la haute Seine et de l'Yonne, les hausses des déversoirs ne devaient pas seulement basculer sous une lame déversante dont l'épaisseur était fixée d'avance à 0 m. 12 ou 0 m. 15 ; elles devaient encore se redresser *spontanément* quand le niveau d'amont aurait subi un abaissement d'environ 0 m. 15 au-dessous du niveau normal. Un mémoire de MM. Chanoine et de Lagrené¹ fait connaître la méthode suivie pour déterminer les éléments des hausses de manière à satisfaire à cette double condition.

L'expérience n'a pas confirmé les prévisions en ce qui concerne le redressement spontané. Celui-ci ne se réalisait qu'après un abaissement d'environ 1 mètre sous la retenue normale et il en résultait, dans la tenue des eaux, des perturbations très préjudiciables à la navigation.

On a cherché à corriger cet inconvénient en limitant l'angle de bascule de chaque hausse au moyen d'une chaîne fixée d'une part à la culasse et d'autre part au radier. Cette modification a réussi à provoquer le redressement spontané pour un abaissement déterminé du niveau d'amont, mais les hausses ainsi rendues prisonnières avaient l'inconvénient de réduire le débouché du déversoir ; en outre, en cas de rupture d'une chaîne, la hausse correspondante était exposée à rester en

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1861, 2^e semestre.

bascule pendant très longtemps et à produire en aval des affouillements dangereux. Enfin, les chaînes des hausses prisonnières devaient être tantôt allongées tantôt raccourcies suivant le débit de la rivière ; de là complication dans les manœuvres.

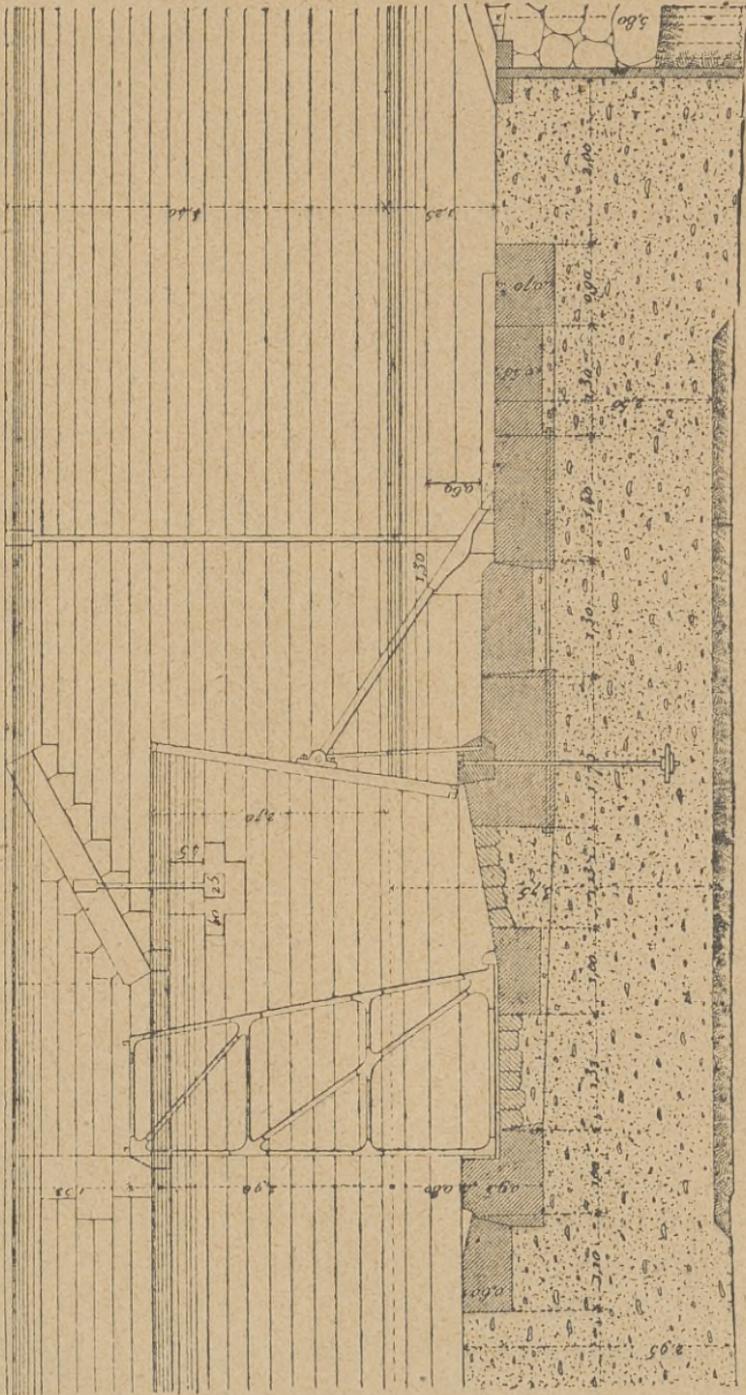
Un nouveau mémoire de MM. Chanoine et de Lagrené ¹, produit quelques années après celui qui est cité plus haut, rend compte de ces divers essais, mais la conclusion a été l'abandon des manœuvres automatiques.

83. Etablissement d'une passerelle de manœuvre.

— Il a fallu se résigner à manœuvrer à la main les hausses des déversoirs et, pour le faire commodément, on a été amené à placer, immédiatement à l'amont de ces organes, des fermettes supportant une passerelle du haut de laquelle s'effectuent les manœuvres. Ces manœuvres, on pourrait à la rigueur les faire à la gaffe ; il est préférable de se servir de chaînes, deux par hausse, attachées l'une à l'extrémité de la volée, l'autre à l'extrémité de la culasse, et d'un treuil circulant sur la passerelle. En tendant l'une des chaînes avec le treuil et en laissant filer l'autre d'une quantité correspondante, le barragiste relève ou abaisse à volonté la hausse qui n'a plus besoin d'être aussi bien équilibrée autour de son axe de rotation. Il peut d'ailleurs laisser encore le basculement se produire de lui-même et n'intervenir que pour le relèvement. On obtenait ainsi toutes garanties d'un bon fonctionnement.

Mais ce résultat n'était obtenu qu'au prix de la construction d'un second barrage mobile ; il était donc payé fort cher. En effet, bien que destinées à ne supporter généralement qu'une simple passerelle de service, les fermettes doivent être, dans l'espèce, à peu près aussi fortes que si elles devaient être garnies d'aiguilles et supporter la retenue. D'abord, puisqu'elles existent, il est naturel de se réserver la possibilité de s'en servir à l'occasion pour former un batardeau à l'abri

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1868, 2^e semestre.



PI. XXVII. COUPE TRANSVERSALE DE LA PASSE NAVIGABLE DU BARRAGE DE COUZON

duquel puissent s'effectuer les réparations aux hausses ou au radier. En second lieu, pendant les manœuvres, le treuil exerce parfois sur les chaînes des efforts voisins de celui que transmettraient aux fermettes des aiguilles soutenant la retenue. Enfin, pendant les manœuvres d'abatage et de relevage, ces fermettes sont soumises aux mêmes efforts que si elles étaient destinées à recevoir une bouchure ; elles doivent donc présenter une résistance transversale aussi grande.

Quoi qu'il en soit, ce qui n'avait été, sur la Seine et sur l'Yonne, qu'un expédient pour utiliser des ouvrages existants (les déversoirs déjà construits), a été imité sur d'autres rivières et appliqué même aux passes plus profondes affectées à la navigation, ainsi que le montre la planche XXVII ci-dessus. Le barrage de Couzon, sur la Saône, dont cette planche donne une coupe transversale de la passe navigable, a été construit en 1877.

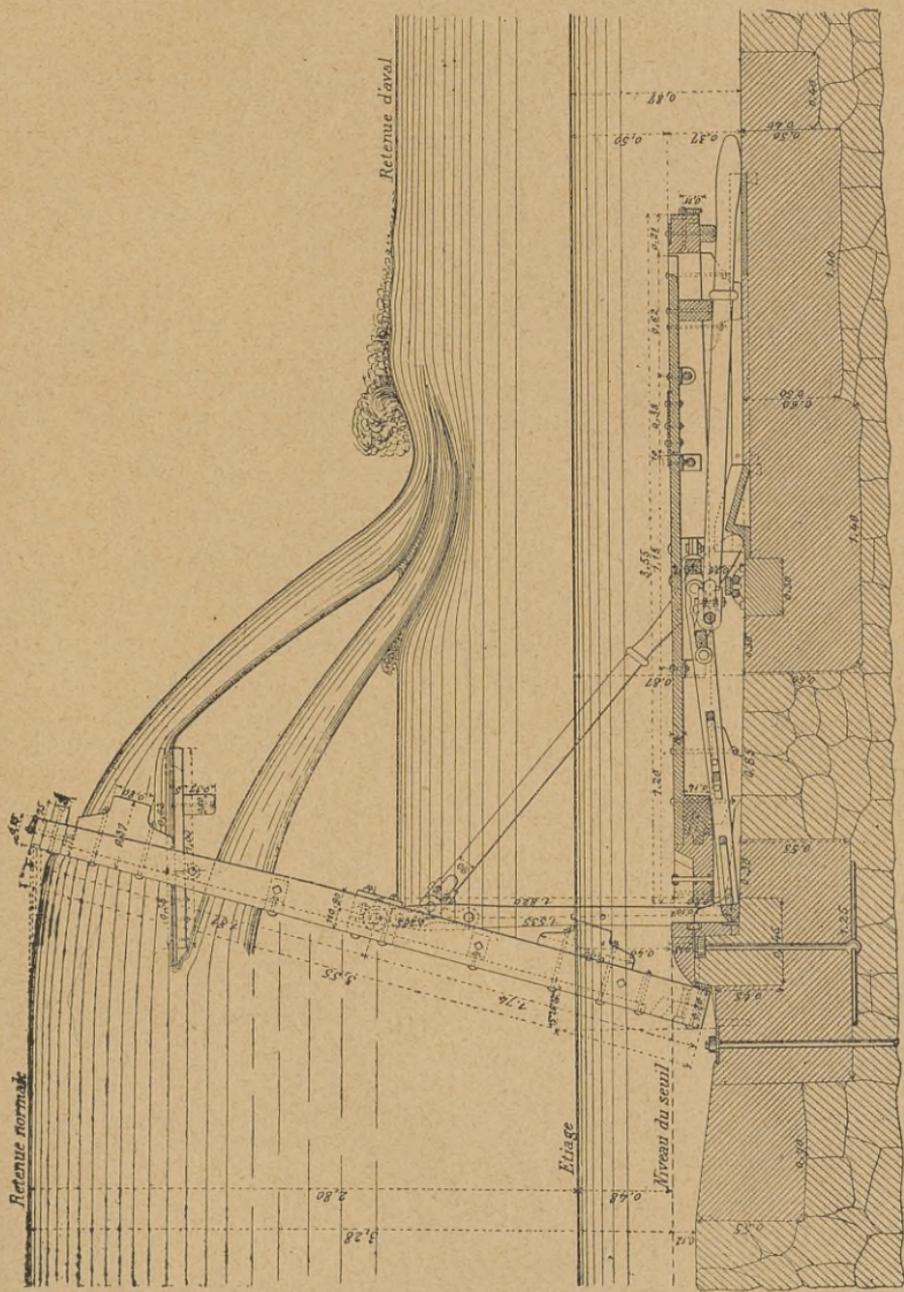
Maintenant que nous avons pris une vue d'ensemble du système Chanoine, nous allons examiner en détail les différentes parties qui le constituent, la hausse et ses appuis (chevalet et arc-boutant) avec leurs accessoires. Enfin, nous dirons quelques mots des parties fixes des barrages Chanoine et nous chercherons à mettre en lumière les avantages et les inconvénients du système.

§ 3

HAUSSE

84. Mode et détails de construction. — Nous prendrons comme spécimen les hausses des passes navigables des barrages de la Haute-Seine transformés depuis 1881 pour porter le mouillage à 2 mètres ¹. La planche XXVIII montre

1. Voir la note de M. l'ingénieur en chef Lavollée sur les ouvrages mobiles des barrages de la Haute-Seine insérée aux *Annales des Ponts et Chaussées*, 1883, 1^{er} semestre.



PL. XXVIII HAUSES EN PLACE AVEC LEURS APPUIS ET ACCESSOIRES

deux hausses en place avec leurs appuis et accessoires, l'une debout, l'autre couchée ; la planche XXIX donne plus spécialement les détails de construction de la hausse.

Deux larges montants en bois en forment la partie essentielle ; deux solides chevêtres, l'un en haut, l'autre en bas, réunissent les montants ; des madriers verticaux assemblés à rainure et languettes et engagés dans des feuillures ménagées sur le pourtour du cadre du panneau forment la partie centrale ; le tout est consolidé par des ferrures.

L'emploi du bois comme matière première paraît ici bien justifié. A raison de son élasticité, il subit sans dommages les chocs qui se produisent dans la plupart des manœuvres, et ces manœuvres sont d'autant plus faciles que les organes mobiles, dès qu'ils sont immergés, perdent la plus grande partie de leur poids. D'autre part, les montants latéraux, formés chacun d'une pièce de bois unique et massive, permettent de fixer les coussinets de la tête du chevalet à une hauteur quelconque, suivant le régime que l'on veut adopter pour la passe à fermer. Enfin, la construction est si simple que le barragiste peut lui-même réparer les hausses quand il en est besoin, avantage considérable lorsque le barrage se trouve éloigné de tout centre de population un peu important.

Le mouvement de bascule de la hausse s'effectue, ainsi que nous l'avons déjà dit, autour d'un axe horizontal placé plus ou moins haut. Nous nous occuperons plus tard de la position la meilleure à donner à cet axe ; mais une fois cette position déterminée, les dimensions transversales des montants peuvent être facilement calculées. En effet, la partie supérieure est assimilable à une pièce encastree à une de ses extrémités et libre à l'autre, et la partie inférieure à une pièce reposant librement par ses extrémités sur deux appuis. Les dimensions données par le calcul ne sont d'ailleurs que des minima qu'il convient toujours d'augmenter pour tenir compte des chocs.

Dans les manœuvres d'abatage, alors que la barre à talons

fait, à tour de rôle, tomber les hausses sur le radier, chacune d'elles, en se couchant, tend à venir s'appuyer sur l'articulation qui réunit l'arc-boutant au chevalet (pl. XXVIII). Sans doute la violence du choc qui pourrait se produire serait fort atténuée par ce fait que la hausse, qui tombe très rapidement au début, trouve au niveau du bief d'aval un matelas d'eau qui amortit sa vitesse. Cependant, il est préférable de l'éviter en fixant à la face aval des montants de la hausse des taquets de hauteur suffisante pour porter sur le radier et arrêter le mouvement avant que le contact avec l'articulation ait eu lieu. Ces taquets apparaissent très nettement sur les dessins des planches XXVIII et XXIX. Quelquefois ils sont remplacés par des saillies de hauteur convenable, ménagées dans la maçonnerie du radier.

Signalons encore l'échancrure pratiquée dans le chevêtre inférieur pour permettre de saisir facilement avec le crochet de traction la poignée de la culasse. Un anneau en fer fixé sur le dessus du chevêtre supérieur, permet également de saisir la hausse par la volée.

85. Vannes-papillons. — Dans la volée, immédiatement au-dessous du chevêtre et limitée latéralement par les deux montants, est ménagée une ouverture que ferme une vanne tournante à axe horizontal. Cette vanne prend le nom de *vanne-papillon* ; elle est figurée ouverte dans la planche XXVIII et fermée dans la planche XXIX. Elle mesure 1 mètre de hauteur sur 0 m. 63 de largeur ; l'orifice qu'elle ferme a 1 m. 02 sur 0 m. 65 ; le jeu sur le pourtour est de 0 m. 01. L'axe de rotation de la vanne est au tiers de sa hauteur.

En ouvrant la vanne-papillon, ce qui est facile d'un coup de gaffe, on donne passage à l'eau, on diminue la pression sur la volée et, par suite, on augmente la prépondérance par rapport à celle-ci, de la pression sur la culasse. On peut ainsi accroître la stabilité des hausses en place et faciliter leur redressement spontané lors de la manœuvre du relevage ¹.

¹ On peut encore faciliter le redressement spontané de la hausse en dis-

C'est M. l'inspecteur général Boulé qui a, le premier, adapté les vannes-papillons aux hausses Chanoine ¹. Leur emploi est d'autant plus à recommander qu'à un autre point de vue elles fournissent un moyen très pratique de régler la retenue, en provoquant çà et là de petits écoulements d'eau. Si toutes les hausses sont munies de vannes-papillons, on peut, avec ces dernières seules, livrer passage à de faibles crues, sans aucune manœuvre de hausses, ce qui constitue un sérieux avantage.

Ces vannes étant susceptibles de tourner autour d'un axe horizontal placé dans le voisinage du centre de pression, on pourrait être tenté de les faire fonctionner automatiquement. L'expérience prouve que ce genre de fonctionnement ne se réalise que d'une manière accidentelle et que les vannes-papillons ne rendent de services parfaitement sûrs que quand elles sont manœuvrées à la main. Aussi, dans certains ouvrages, sont-elles pourvues de verrous de fermeture qui les empêchent absolument de s'ouvrir spontanément.

Signalons à la partie supérieure de la vanne-papillon une échancrure de 0 m. 16 de diamètre et, un peu plus bas, un tasseau horizontal faisant saillie de 0 m. 17 sur la face aval de la vanne. L'une et l'autre ont pour but d'empêcher cette dernière de se coincer avec l'arc-boutant lorsqu'on la laisse ouverte au moment de l'abatage. Disons encore que l'inclinaison du papillon ouvert est limitée par une plaque de tôle boulonnée sur sa culasse, ayant 0 m. 70 de largeur et empiétant ainsi de 0 m. 025 sur la face intérieure de chacun des montants. Ce rebord vient rencontrer la charpente de la hausse au point voulu pour l'arrêt, c'est-à-dire, quand le barrage est debout, au moment où la vanne se place horizontalement.

posant ses supports de façon que, dans la position de bascule, elle n'atteigne pas l'horizontale. Sur les derniers barrages de la Meuse belge, les hausses sont arrêtées sous une inclinaison de 21°.

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1873, 2^e semestre.

86. Dimensions et espacement des hausses. — Constituée comme il vient d'être dit, la hausse Chanoine forme un grand panneau qu'on ne peut soumettre à des efforts excessifs, si l'on veut que les organes qui le soutiennent ne soient pas trop chargés. La longueur de la hausse est déterminée par la hauteur de la retenue au-dessus du seuil, d'une part, par son inclinaison sur la verticale, d'autre part. Lorsque cette longueur est grande, surtout si la chute est forte, il faut réduire la largeur. C'est ainsi que les hausses qui fermaient jadis la passe la plus profonde du barrage de Port-à-l'Anglais, et dont la longueur atteignait 4 m. 45, n'avaient que 1 mètre de largeur; et cependant, avec une chute susceptible de s'élever à 3 m. 26, la pression totale pouvait dépasser 7.500 kilogrammes. La hausse représentée dans la planche XXIX n'a que 3 m. 55 de longueur; la largeur est de 1 m. 25.

Les pièces métalliques qui supportent les hausses et qui sont articulées sur plusieurs points prennent du jeu avec le temps. Un certain jeu initial est même nécessaire, ainsi que nous le verrons plus loin, pour que l'arc-boutant puisse être entraîné latéralement et se dégager de son arrêt. Il s'en suit que deux hausses voisines, si elles étaient trop rapprochées, seraient exposées à chevaucher l'une sur l'autre à un moment donné, ce qui diminuerait beaucoup l'étanchéité du barrage et compromettrait même certaines manœuvres. Le danger est d'autant plus grand que les hausses sont plus longues et partant plus étroites.

Un joint de 0 m. 10 de largeur paraît suffisant dans tous les cas et peut être considéré comme un maximum. Dans les barrages actuels de la Haute-Seine, les hausses, larges de 1 m. 25, ne laissent entre elles qu'un joint de 0 m. 05. Mais même ramenés à cette dernière dimension, ces joints donnent lieu à des déperditions considérables et seraient, dans bien des cas, susceptibles d'épuiser le débit d'étiage; dans les moments de pénurie d'eau, il faut les obturer. Pour boucher un joint (fig. 48), on se sert soit d'un madrier posé à plat (*a*), soit

d'une aiguille (*b*) que l'on présente par un angle et que le

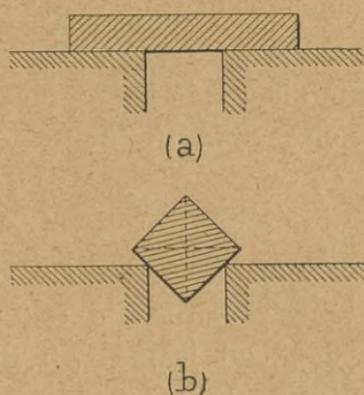


Fig. 48.

courant pousse jusqu'à ce que deux faces contiguës s'appuient sur les deux hausses voisines.

87. Treuil différentiel de M. Maurice Lévy.— Depuis les conceptions premières de M. Chanoine, des perfectionnements importants ont été apportés au mode et aux engins de manœuvre. Pour les hausses manœuvrées du haut d'une passerelle de service, le treuil différentiel de M. l'inspecteur général Maurice Lévy a fourni une solution complète.

Dans les manœuvres faites avec un treuil ordinaire, telles que nous les avons indiquées à la page 168, il se produit fréquemment des chocs et des mouvements violents, non sans danger pour les barragistes et sans fatigue pour les organes mobiles des barrages. La circonstance la plus fâcheuse, beaucoup plus fréquente qu'on ne pourrait le penser de prime abord, est celle où, pendant une manœuvre, l'arc-boutant qui soutient le chevalet et la hausse vient subitement à quitter son heurtoir.

On sait que chaque hausse porte deux chaînes, l'une qui la saisit par la tête de la volée, l'autre par le pied de la culasse. Le treuil imaginé par M. Maurice Lévy est un treuil différentiel, c'est-à-dire qu'il porte deux tambours de diamè-

tres différents calés sur un même arbre ; les diamètres de ces tambours sont exactement dans le même rapport que les longueurs de la volée et de la culasse ; la chaîne de volée est passée sur le gros tambour, la chaîne de culasse sur le petit et en sens inverse, de façon que l'une s'enroule pendant que l'autre se déroule.

De quelque opération qu'il s'agisse, si les deux chaînes étaient tendues au début de l'opération, *elles resteront constamment tendues*, pour vaincre la pression de l'eau, ou pour y résister. Quelle que soit la position du centre de pression de l'eau relativement à l'axe de rotation de la hausse, celle-ci ne peut ni avancer ni reculer sans la volonté du barragiste. Et même si l'arc-boutant venait à s'échapper, le barragiste n'aurait qu'à continuer de tourner la manivelle du treuil comme si *de rien n'était* ; *tout se passerait comme si l'arc-boutant ne s'était pas échappé*. Le barragiste serait seulement averti de l'accident par l'augmentation des résistances passives, et ainsi mis à même de prendre ses mesures en conséquence.

Nous devons nous borner ici à faire connaître le principe de cet ingénieux appareil ; pour tous les détails de construction et de fonctionnement, nous ne pouvons que renvoyer à la note de M. Maurice Lévy dans les *Annales des Ponts et Chaussées* ¹.

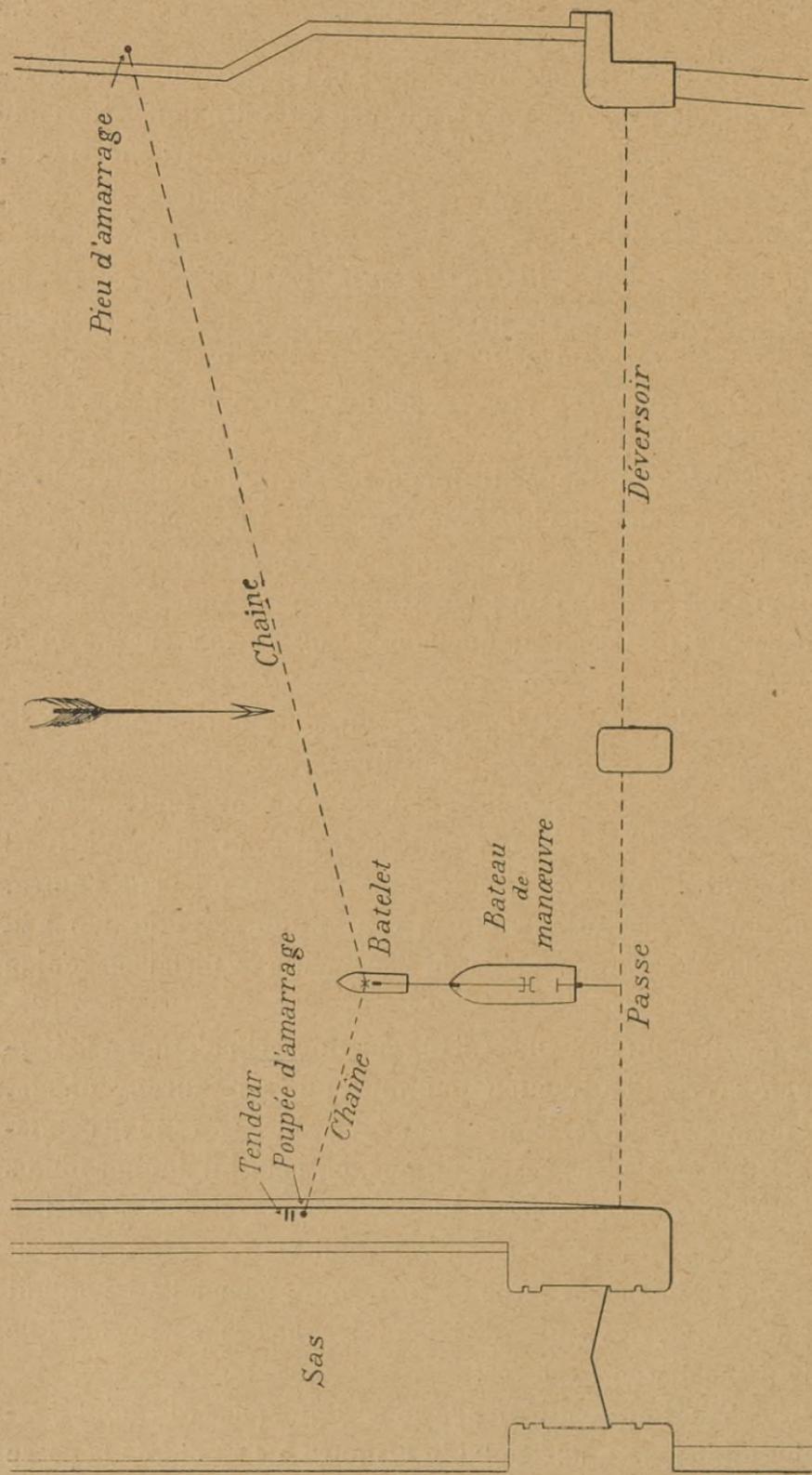
88. Mode d'emploi du bateau de manœuvre sur l'Yonne. — Pour que le relevage des hausses puisse se faire avec sécurité en employant le bateau de manœuvre suivant les conceptions de M. Chanoine, il faut que les points d'appui pris par ce bateau sur les hausses relevées soient assez bas pour ne pas provoquer le basculement de ces dernières. Cette condition était aisément remplie au temps des éclusées, lorsqu'on profitait, pour relever le barrage, de l'*affameur* qui suivait le *flot*. Elle se réalise encore d'une manière suffisante

sur les rivières à cours tranquille, dont le niveau varie lentement et où, par conséquent, on peut attendre pour relever le barrage que la hauteur de l'eau sur le seuil soit bien réduite. Il n'en est plus de même sur les rivières à cours torrentiel, comme l'Yonne, dont le niveau varie avec une très grande rapidité. Là, pour éviter la *discontinuité* de la navigation, on est obligé de relever les barrages lorsque la hauteur d'eau sur les seuils est encore considérable. Au fur et à mesure que la batellerie se montrait plus exigeante à ce point de vue, l'emploi classique du bateau de manœuvre devenait plus périlleux. Grâce à un dispositif ingénieux dont le mérite revient à M. l'ingénieur en chef Bonneau, jadis notre collaborateur dans le service de la navigation de l'Yonne, tout danger est aujourd'hui écarté et on peut dire que le relevage des hausses est maintenant possible, quelle que soit la hauteur de l'eau sur les seuils.

Placé à l'amont du barrage, non plus normalement à la rivière, mais dans le sens même du courant, le bateau de manœuvre est amarré par l'avant à un point fixe (ancre, corps-mort, etc...). C'est la corde d'amarre qui s'enroule sur le treuil et il suffit de virer au treuil, dans un sens ou dans l'autre, pour que le bateau remonte le courant ou soit entraîné à la descente. Il est donc facile de l'amener à la distance voulue du barrage.

A l'arrière du bateau est fixé, par une articulation à la Cardan, le crochet de traction dont on a pu, sans inconvénients, augmenter les dimensions et dont une poignée rend le manie-ment plus aisé. Dans ces conditions, on peut lui donner toutes les positions imaginables et tout agent un peu exercé saisit à coup sûr la culasse de la hausse qu'il veut relever. Il suffit alors de se hâler sur le point fixe pour amener l'arc-boutant sur son arrêt, et ensuite de laisser dérouler l'amarre pour que la hausse puisse se relever.

Le premier dispositif essayé consistait à placer le point d'at-tache du bateau à une notable distance à l'amont de la passe



PI. XXX. MODE D'EMPLOI DU BATEAU DE MANOEUVRE SUR L'YONNE (ENSEMBLE)

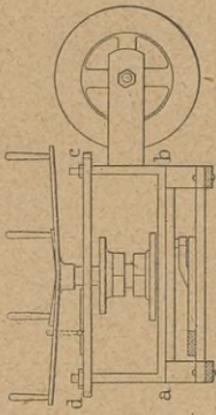
à manœuvrer. Le bateau pouvait osciller autour de ce point fixe dans les limites de la largeur de la passe et se placer successivement au droit de chaque hausse à relever. L'inconvénient de ce dispositif est que, pour les hausses extrêmes, la traction s'exerce avec une obliquité prononcée, et par suite avec des efforts de torsion fâcheux.

L'ensemble du dispositif définitivement adopté est représenté schématiquement dans la planche XXX. Le bateau de manœuvre est amarré, non plus à un point fixe, mais à un batelet susceptible de se mouvoir le long d'une chaîne transversale à la rivière ; il peut donc toujours être amené exactement dans l'axe de la hausse à relever ; les efforts de torsion signalés plus haut comme fâcheux ne sont plus à redouter.

Quand la passe est abattue, la chaîne transversale, larguée, repose sur le fond de la rivière ; une de ses extrémités reste fixée à un pieu d'amarrage, l'autre est reliée à une poupée, scellée dans le bajoyer du large de l'écluse, par une chaînette de faible échantillon. Quand on veut tendre la chaîne, on tire à bras sur cette chaînette de manière à amener les premiers maillons de la grosse chaîne à portée de la main, puis on saisit l'un de ces maillons au moyen d'un crochet appelé *stoppeur* qui est lui-même fixé à l'extrémité d'une chaîne de force moyenne s'enroulant sur le tambour d'un tendeur. Il suffit alors d'actionner ce tendeur, au moyen des leviers à déclie dont il est muni, pour tendre la chaîne transversale et passer l'anneau qui la termine sur la poupée (pl. XXXI, page 182).

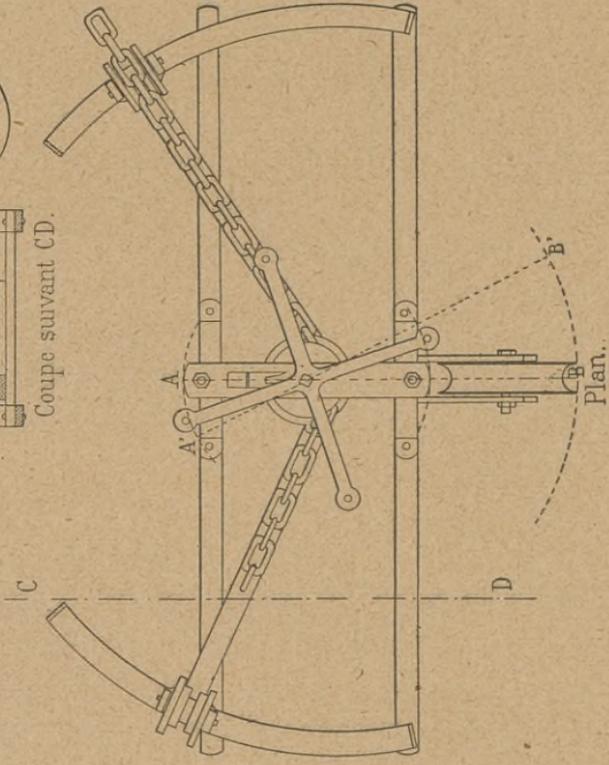
C'est au moyen d'une poulie à empreintes dans la gorge de laquelle passe la chaîne transversale que le batelet est attaché à cette chaîne, et peut se mouvoir dans toute sa longueur. La planche XXXI donne le détail de l'appareil fixé, à cet effet, sur l'avant du batelet. Les figures s'expliquent d'elles-mêmes ; il nous suffira de dire que la partie supérieure de l'appareil est mobile et que tout ce qui se trouve au-dessus de la poulie à empreintes peut être enlevé en dévissant deux écrous. Rien de plus facile dès lors que de faire passer l'avant du batelet

APPAREIL DU BATELET



Nota. — La partie abcd peut pivoter autour de l'axe et, par suite, devient susceptible de prendre plusieurs positions, AB par exemple, puis AB'.

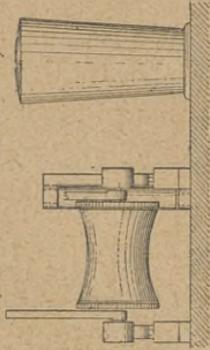
Coupe suivant CD.



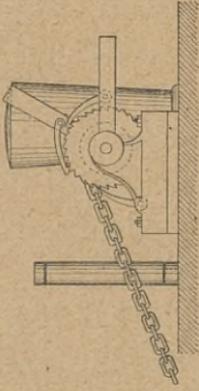
Plan.

TENDEUR

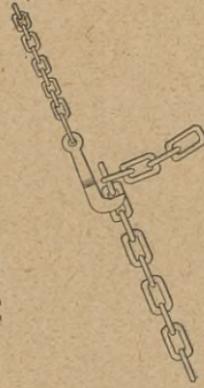
(La chaîne est trouillée)



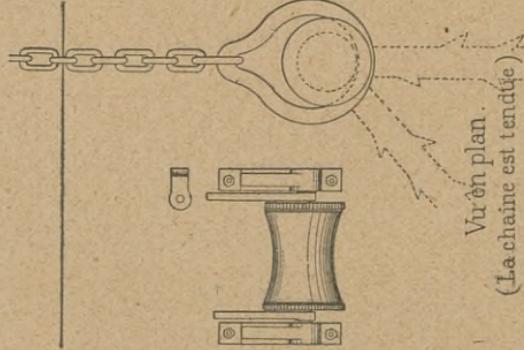
(avec la chaîne du stoppeur).



Stoppeur tendant la chaîne



Stoppeur en plan.



Vir en plan.

(La chaîne est tendue)

sous la chaîne, de manière à accrocher sur celle-ci la poulie à empreintes.

§ 4

CHEVALET ET ARC-BOUTANT AVEC LEURS ACCESSOIRES

89. Efforts transmis par la hausse à ses appuis quand la retenue est tendue. — Il importe de se faire une idée des efforts transmis par la hausse à ses appuis, lorsque la retenue est tendue. Hausse, chevalet, arc-boutant sont représentés schématiquement dans la figure 49 ; nous supposons, pour simplifier, que ces trois éléments sont articulés sur un même axe horizontal, en M.

Appelons :

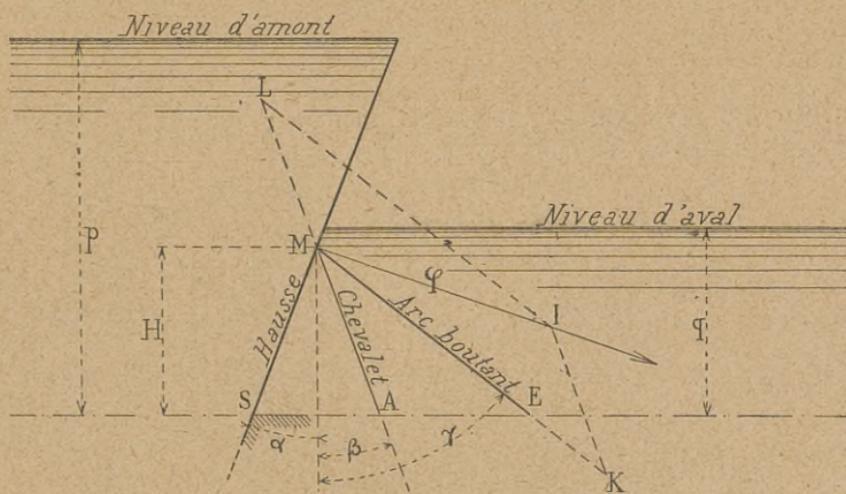


Fig. 49.

H la hauteur de l'articulation au-dessus du seuil ;

l la largeur de la hausse ;

p et q les hauteurs de l'eau au-dessus du seuil en amont et en aval ;

α , β et γ les angles respectivement faits avec la verticale par la hausse, le chevalet et l'arc-boutant.

L'effort transmis au point M, normalement à la hausse, exprimé en tonnes de 1.000 kilogrammes,

$$\varphi = l \frac{p^3 - q^3}{6H \cos \alpha}.$$

La force φ peut être décomposée en deux φ_A et φ_E dirigées l'une suivant le chevalet, l'autre suivant l'arc-boutant. La figure montre que la première est un effort de *traction* ou d'*arrachement* et la seconde un effort de *compression* ou d'*écrasement*.

Les valeurs de φ_A et de φ_E sont faciles à calculer²; elles sont respectivement :

1. La pression totale exercée par l'eau sur la hausse est égale à

$$l \frac{p^2 - q^2}{2 \cos \alpha},$$

et son moment par rapport au seuil S a pour valeur

$$l \frac{p^3 - q^3}{6 \cos^2 \alpha}.$$

L'effort correspondant appliqué à l'articulation, φ , doit avoir même moment par rapport au seuil; on a donc :

$$\varphi \times \frac{H}{\cos \alpha} = l \frac{p^3 - q^3}{6 \cos^2 \alpha},$$

d'où

$$\varphi = l \frac{p^3 - q^3}{6H \cos \alpha}.$$

2. Entre les éléments du triangle MIK, existe la relation

$$\frac{MI}{\sin MKI} = \frac{IK}{\sin IMK} = \frac{MK}{\sin MIK},$$

c'est-à-dire

$$\frac{\varphi}{\sin MKI} = \frac{\varphi_A}{\sin IMK} = \frac{\varphi_E}{\sin MIK}.$$

Or :

$$\sin MKI = \sin AMK = \sin (\gamma - \beta);$$

$$\sin IMK = \sin (90^\circ - KMS) = \cos KMS = \cos (\alpha + \gamma);$$

$$\sin MIK = \sin AMI = \sin (90^\circ - AMS) = \cos AMS = \cos (\alpha + \beta).$$

On a donc en définitive

$$\varphi_A = l \times \frac{p^3 - q^3}{6H} \times \frac{\cos \gamma - \operatorname{tang} \alpha \sin \gamma}{\sin (\gamma - \beta)} ;$$

$$\varphi_E = l \times \frac{p^3 - q^3}{6H} \times \frac{\cos \beta - \operatorname{tang} \alpha \sin \beta}{\sin (\gamma - \beta)} .$$

Pour avoir les composantes verticales et horizontales de ces deux efforts, il suffirait de multiplier respectivement par $\cos \beta$ et $\sin \beta$ la première expression, par $\cos \gamma$ et $\sin \gamma$ la seconde.

90. Variations des efforts avec les inclinaisons respectives de l'arc-boutant, de la hausse et du chevalet. — Au fur et à mesure que l'inclinaison de l'arc-boutant sur la verticale augmente, que l'angle γ grandit, ou encore qu'on allonge l'arc-boutant, les efforts d'arrachement et d'écrasement φ_A et φ_E diminuent, le premier surtout, très rapidement. Il s'annule lorsque l'arc-boutant devient perpendiculaire à la hausse ¹.

Les deux efforts diminuent également quand l'inclinaison de la hausse sur la verticale augmente, quand l'angle α grandit. L'effort d'arrachement s'annule dans le même cas que ci-dessus, c'est-à-dire quand la hausse est perpendiculaire à l'arc-boutant. L'effort d'écrasement suivant l'arc-boutant s'an-

$$\frac{\varphi}{\sin (\gamma - \beta)} = \frac{\varphi_A}{\cos (\alpha + \gamma)} = \frac{\varphi_E}{\cos (\alpha + \beta)} .$$

On en tire

$$\varphi_A = \varphi \frac{\cos (\alpha + \gamma)}{\sin (\gamma - \beta)}, \quad \varphi_E = \varphi \frac{\cos (\alpha + \beta)}{\sin (\gamma - \beta)},$$

ou, en remplaçant φ par sa valeur,

$$\varphi_A = l \frac{p^3 - q^3}{6H \cos \alpha} \times \frac{\cos (\alpha + \gamma)}{\sin (\gamma - \beta)} = l \frac{p^3 - q^3}{6H} \times \frac{\cos \gamma - \operatorname{tang} \alpha \sin \gamma}{\sin (\gamma - \beta)},$$

$$\varphi_E = l \frac{p^3 - q^3}{6H \cos \alpha} \times \frac{\cos (\alpha + \beta)}{\sin (\gamma - \beta)} = l \frac{p^3 - q^3}{6H} \times \frac{\cos \beta - \operatorname{tang} \alpha \sin \beta}{\sin (\gamma - \beta)} .$$

Si la hausse et le chevalet étaient du même côté de la verticale, il faudrait, dans ces formules, remplacer β par $-\beta$

1. Dans ce cas les angles α et γ sont complémentaires ; on a

$$\operatorname{tang} \alpha \times \operatorname{tang} \gamma = 1, \quad \cos \gamma = \operatorname{tang} \alpha \times \sin \gamma .$$

nule de son côté lorsque la hausse devient perpendiculaire au chevalet ¹.

L'influence sur les valeurs de φ_A et de φ_B des variations de l'inclinaison du chevalet, c'est-à-dire de l'angle β , ressort moins nettement de l'examen des expressions données ci-dessus. Mais à l'inspection de la figure et du parallélogramme de décomposition de la force φ , il est aisé de constater que les deux composantes diminuent d'une façon continue lorsque β diminue, passe par 0 et, devenant ensuite négatif, augmente, en valeur absolue, jusqu'à α .

En se plaçant exclusivement au point de vue de la réduction des efforts transmis par la hausse à ses appuis, et en supposant fixée la hauteur de son axe de rotation, on peut déduire de ce qui précède certaines conséquences.

Il y a avantage à allonger l'arc-boutant autant que les circonstances le permettent.

Il y a avantage à accentuer l'inclinaison de la hausse sur la verticale, surtout quand il s'agit d'une grande hausse, et autant qu'il n'en résulte pas un accroissement excessif dans les dimensions de celle-ci. D'après les indications de l'expérience, cette inclinaison pourrait varier de 8° pour les plus petites hausses jusqu'à 20° pour les plus grandes. Pour les hausses actuellement en service sur les barrages de la Haute Seine, elle est de 15°, 26', 32" (pl. XXVIII, page 171).

Dans le même ordre d'idées, il y aurait lieu de rapprocher le pied du chevalet de celui de la hausse, et cela d'autant plus que cette dernière a de grandes dimensions.

Dans tous les cas, il est *indispensable d'ancrer solidement* dans le radier l'articulation inférieure du chevalet, puisque celui-ci est soumis à un effort de traction.

91. Cas où les articulations de la hausse et de l'arc-boutant avec le chevalet sont distinctes. — Dans

1. Dans ce cas les angles α et β sont complémentaires ; on a
 $\text{tang } \alpha \times \text{tang } \beta = 1$, $\cos \beta = \text{tang } \alpha \times \sin \beta$.

ce qui précède, nous avons admis, pour simplifier, que la hausse et l'arc-boutant étaient articulés avec le chevalet, sur un même arbre horizontal. Dans les hausses actuellement en service sur les barrages de la Haute Seine, les deux articulations sont distinctes. L'articulation de l'arc-boutant est à 0 m. 285 au-dessous de celle de la hausse (pl. XXXII, page 190).

Cette disposition modifie la répartition des efforts transmis par la hausse à ses appuis. Pour l'étude détaillée de la répartition nouvelle nous ne pouvons que renvoyer à la note déjà citée de M. l'ingénieur en chef Lavollée ¹ ; nous ne mentionnerons ici que la conclusion, à savoir : les efforts de compression suivant l'arc-boutant, et de traction suivant le chevalet, sont minima lorsque les deux articulations sont à la même hauteur, mais ne varient pas de plus d'un dixième lorsqu'elles sont distantes de 0 m. 285 comme dans l'espèce. L'inconvénient de cette majoration est compensé et au-delà par divers avantages pratiques résultant de la disposition nouvelle, ainsi que nous le verrons plus loin.

Indépendamment de l'augmentation de l'effort de traction, le chevalet est soumis à des flexions dont il y a lieu de tenir compte dans la détermination de sa forme et de ses dimensions.

92. Influence de la hauteur de l'axe de rotation de la hausse. — Suivant que son axe de rotation sur la tête du chevalet est placé plus ou moins haut, la hausse a moins ou plus de facilité à basculer. Si l'axe de rotation coïncide avec le centre de pression, la hausse sera absolument instable ; la moindre élévation du niveau de l'eau soit à l'amont, soit à l'aval, déterminera le basculement.

Si, au contraire, l'axe de rotation coïncide avec le milieu de la hausse, celle-ci restera immobile, quels que soient les niveaux à l'amont et à l'aval ; toute chance de basculement spontané aura disparu.

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1883, 1^{er} semestre, page 622.

Ce sont là les deux cas extrêmes, entre lesquels il convient de se tenir.

La sensibilité des hausses est parfois une garantie et, en tout cas, elle facilite les manœuvres.

Mais la sensibilité exagérée présente de graves inconvénients. Quand, par une cause quelconque, une ou plusieurs hausses viennent à basculer spontanément, le bief d'aval se gonfle au pied même du barrage, ce qui provoque et accélère la mise en bascule des autres hausses. Tout le bief d'amont tombe alors dans le bief d'aval, il se produit une crue locale artificielle par laquelle le régime de la rivière peut se trouver temporairement atteint, et cela a toujours de fâcheuses conséquences au point de vue des intérêts des riverains et de la navigation.

On en a eu de fréquents exemples lors de la mise en service, sur l'Yonne et la Haute Seine, des barrages Chanoine, primitivement pourvus de déversoirs automatiques. Il suffisait de la moindre pluie dans le Morvan, du moindre mouvement d'eau dans le cours supérieur de l'Yonne, pour déterminer le basculement spontané des premiers barrages ; il en résultait un *flot* qui allait en se propageant et en grossissant, sur un parcours de 200 kilomètres, jusqu'à Paris, où il produisait une crue d'autant plus grave qu'elle n'était ni prévue ni annoncée.

Sur la Haute Seine, avant la transformation des barrages terminée en 1881, le basculement des passes navigables était un phénomène constant pendant les années pluvieuses. En 1879, sur 215 journées où les barrages ont été debout, il y en a eu 202 pendant lesquelles des hausses se sont inclinées d'elles-mêmes et le nombre moyen de hausses en bascule a été de 18 par jour, soit une hausse et demie en moyenne par barrage. Outre les inconvénients que nous avons déjà signalés, il en résultait, en aval, des courants intenses très gênants pour les manœuvres des bateaux à l'entrée ou à la sortie des écluses.

La note déjà plusieurs fois citée de M. l'ingénieur en chef Lavollée ¹ contient une étude des conditions de stabilité des hausses, étude limitée à la considération des pressions statiques, les seules que nous ayons, d'ailleurs, envisagées dans tout ce qui précède. Voici d'autre part, les conclusions auxquelles on a été conduit par la pratique.

Quand le seuil est très élevé, quand le niveau du bief d'aval ne le dépasse notablement qu'au moment où le barrage doit être ouvert, on peut raccourcir la culasse jusqu'aux 36 centièmes de la longueur totale de la hausse. Le basculement spontané est peu à redouter et la chute accidentelle d'un élément n'a pas d'influence sur le reste du système.

Quand la passe est profonde, quand les hausses ont de grandes dimensions, leur basculement spontané doit être évité ; il vaut mieux se résigner à rendre la manœuvre plus dure. On peut alors porter la longueur de la culasse aux 49 centièmes de la longueur totale, comme on l'a fait en dernier lieu sur la Seine.

Telles sont les limites dans lesquelles il convient de choisir, suivant les circonstances.

93. Chevalet, colliers, crapaudines, coins du chevalet. — La planche XXXII (page 190) donne, du type de chevalet aujourd'hui en service dans les passes navigables des barrages de la Haute Seine, un dessin assez détaillé pour qu'une description soit superflue. Au premier coup-d'œil on voit que la pièce est constituée de façon très robuste.

Nous avons déjà dit qu'indépendamment d'un effort de traction longitudinale elle était, dans l'espèce, soumise à des flexions dont il y avait lieu de tenir compte dans la détermination de sa forme et de ses dimensions. Mais en dehors de cette considération, il ne faut pas perdre de vue que, dans les manœuvres, elle est exposée à des efforts dont la nature et l'importance varient dans les limites les plus étendues. C'est

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1883, 1^{er} semestre, page 622.

ainsi, par exemple, que lorsqu'on relève une hausse entre une qui est déjà debout et une autre encore abattue, le courant qui agit d'un seul côté tend à tordre tout le système. Il faut encore compter avec les chocs des bateaux et autres corps flottants. Il est donc essentiel que le chevalet présente une solidité à toute épreuve.

Il doit évidemment son nom à sa forme trapézoïdale ; on donne aux bases toute la largeur possible de manière à mieux diriger les mouvements de la hausse.

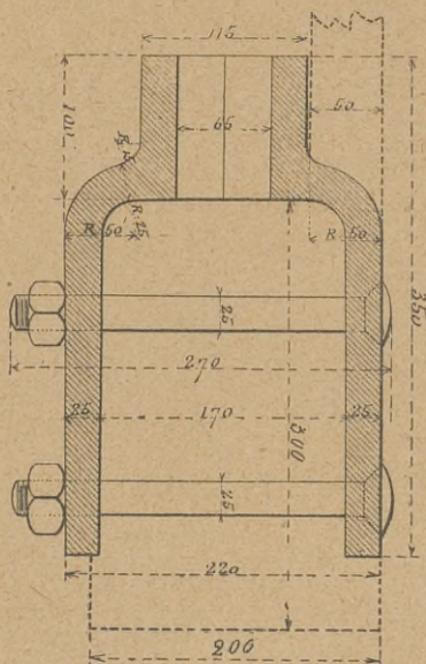


Fig. 50.

La traverse supérieure se prolonge par des tourrillons de 0 m. 060 de diamètre qui s'engagent dans les *colliers de chevalet* fixés aux montants de la hausse. La planche XXIX (page 173) donne de ces pièces, mais à petite échelle, une élévation d'amont, une élévation d'aval et une élévation latérale. La coupe horizontale suivant l'axe d'un collier représentée à plus grande échelle dans la figure 50 achève de bien faire comprendre le mode d'assemblage avec les montants. Le cous-

sinet dans lequel tourne le tourillon a un diamètre de 0 m. 065 supérieur de 0 m. 005 à celui de ce dernier.

Les tourillons, également de 0 m. 060 de diamètre, qui prolongent la traverse inférieure et forment avec elle l'essieu du chevalet, s'engagent dans des crapaudines fixées au seuil. Ces crapaudines (fig. 51) sont disposées deux par deux, symétriquement, d'où leur nom de *crapaudines jumelles*. Le loge-

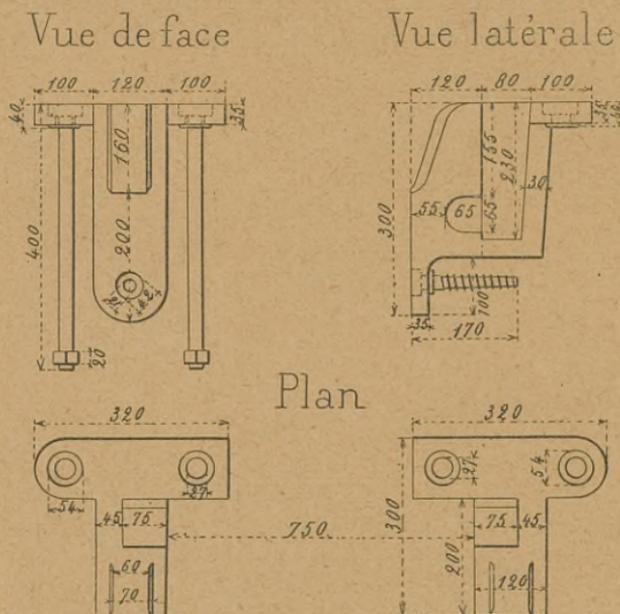


Fig. 51.

ment, de 0 m. 065 de diamètre, destiné à recevoir chaque tourillon se trouve à la partie inférieure d'une cheminée verticale à sections horizontales rectangulaires, présentant de bas en haut un léger évasement qui facilite la mise en place du tourillon.

Les crapaudines jumelles sont, d'ailleurs, placées de telle sorte qu'un coin unique dit *coin de chevalets* (fig. 52) engagé dans les deux cheminées verticales symétriques rend l'essieu et par conséquent le chevalet prisonnier. Il suffit d'enlever le coin, opération qui peut être faite très facilement par un plongeur, pour rendre la liberté au chevalet et par suite à l'ensemble de la hausse et de toutes les pièces qui y sont attachées.

La composante de la pression de l'eau dirigée suivant le chevalet a l'inconvénient de soulever le coin. Il arrivait quelquefois, à la suite du départ du coin, que le chevalet sortait des crapaudines et que la hausse était projetée sur le radier. Cet accident ne se produit plus depuis qu'on a relié le coin au seuil à l'aide d'une simple goupille munie d'un œil (fig. 52)

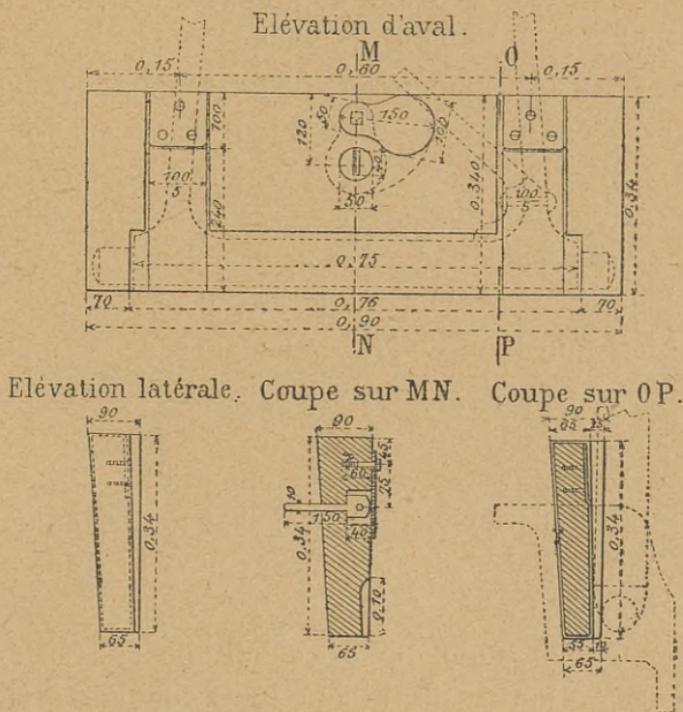


Fig. 52.

qui permet de la retirer quand on veut enlever le coin pour déplacer la hausse. C'est M. Briffault, chef-barragiste à Port-à-l'Anglais, qui a jadis imaginé ce perfectionnement.

Nous avons dit qu'au point de vue des efforts supportés par les différentes parties du système, il n'y avait pas intérêt, bien au contraire, à ce que le pied du chevalet fut séparé de celui de la hausse en place par la verticale de l'articulation des deux pièces. Cette dernière disposition n'en a pas moins été fréquemment adoptée dans la pratique. C'est qu'en effet, dans ce cas, la verticale du centre de gravité de l'ensemble du chevalet et de la

hausse passe entre les points d'appui de ces deux pièces ; lors du montage ou des réparations, la hausse peut se tenir debout sans le secours de l'arc-boutant, ce qui est une facilité de plus.

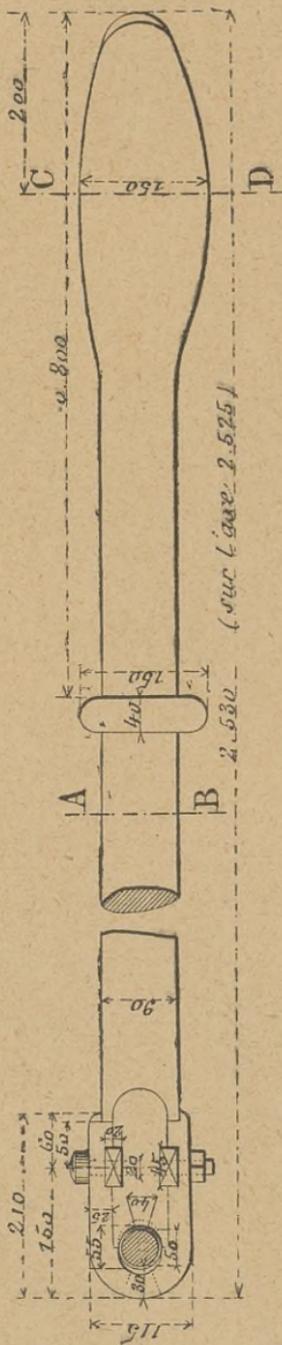
C'est en vertu de considérations du même genre que dans les hausses actuellement en service sur la Haute Seine, on a séparé les deux axes d'articulation du chevalet avec la hausse et avec l'arc-boutant. Si les deux axes coïncident, le support commun se prête difficilement aux remplacements partiels ; un accident survenant aux colliers ou à la traverse supérieure du chevalet entraîne la dislocation de tout le système d'appuis, c'est-à-dire la chute de la hausse. Avec deux axes séparés, au contraire, on peut sans danger remplacer l'arc-boutant en retenant la hausse par le chevêtre de volée ; et une rupture des colliers ou des tourillons de la traverse supérieure du chevalet n'empêche pas la hausse de rester appuyée.

94. Arc-boutant. — Indépendamment de l'effort de compression qui lui est transmis par le chevalet, l'arc-boutant est exposé, comme celui-ci, à des chocs violents : il importe de lui donner un grand excès de solidité.

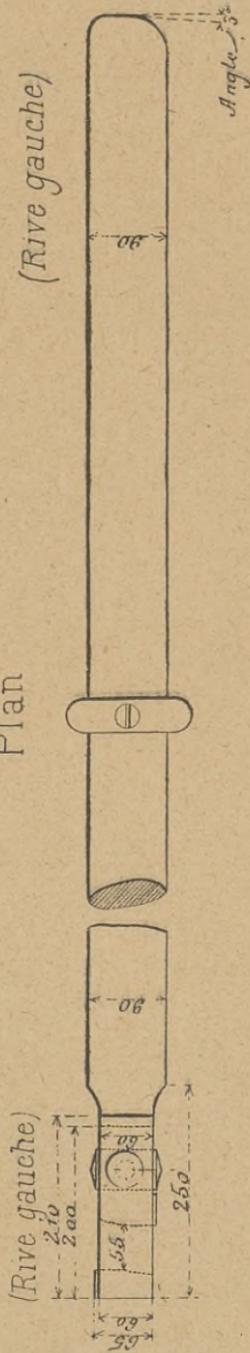
Si l'on ne tenait compte que des conditions de résistance de la pièce, on serait porté à la raccourcir en vue d'assurer sa rigidité ; mais nous avons vu que d'autres considérations portent à l'allonger et cela d'autant plus que la hausse est plus chargée. Cet allongement diminue, en effet, les efforts transmis aux appuis et facilite la mise en place.

Il convient d'insister sur ce dernier point. Quand le barrage est en partie debout, la portion de passe qui demeure ouverte donne passage à des courants de plus en plus violents ; et, lors du relevage des dernières hausses, ces courants viennent frapper directement l'arc-boutant qui, retenu par la tête, laisse traîner son pied sur le radier. Sous le choc de l'eau, ce pied est soulevé, tombe, se relève, demeure parfois flottant dans le courant. Si, le croyant arrêté sur son heurtoir, on abandonne

Elevation.



Plan



Coupe AB Coupe CD



Pl. XXXIII. DÉTAILS D'UN ARC-BOUTANT

alors la hausse à elle même, elle retombe sur le radier, entraînant avec elle les appareils de manœuvre et compromettant ainsi la sécurité des ouvriers.

La planche XXXIII ci-dessus montre en détail les dispositions adoptées pour les arcs-boutants des hausses des passes navigables de la Haute Seine. Le corps de la pièce est cylindrique, de 0 m. 090 de diamètre ; la partie inférieure est renflée jusqu'à présenter 0 m. 150 de hauteur avec la même épaisseur de 0 m. 090. Ce renflement permet à la barre à talons de mordre davantage sur le pied de l'arc-boutant et par là même assure l'abatage dans les meilleures conditions possibles. En même temps, cet excédent de poids à la partie inférieure ne peut que faciliter, d'après ce qui a été dit plus haut, la mise en place. Signalons aussi une sorte d'anneau en forme de tore fixé sur le corps de l'arc-boutant, à peu près au tiers de sa longueur vers l'extrémité inférieure, dans le but de donner un point d'appui, une prise, aux crocs ou aux cordages dont on peut avoir à se servir dans certaines manœuvres.

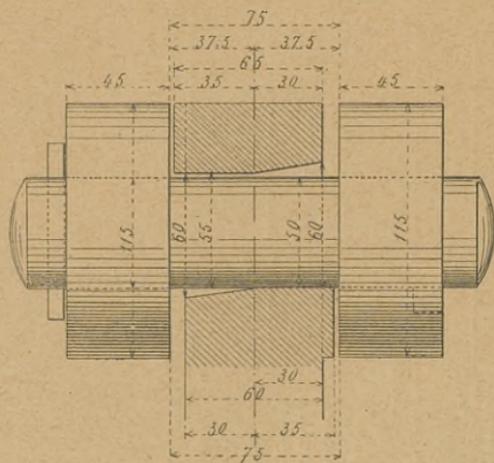


Fig. 53.

La tête est, d'une manière générale, façonnée comme une tête de bielle pour embrasser l'arbre de l'articulation avec le chevalet, mais en même temps elle présente certaines dispositions spéciales très ingénieuses. Il faut, en effet, que l'arc-bou-

tant puisse s'écarter légèrement du plan perpendiculaire à l'articulation, du côté où il est sollicité par la barre à talons, et qu'il ne puisse pas s'en écarter du côté opposé. La figure 53, faite à grande échelle, montre comment on satisfait à cette double condition au moyen d'ergots convenablement disposés et en ovalisant partiellement le passage ménagé dans la tête de bielle pour l'arbre d'articulation. Dans l'espèce, l'arc-boutant peut être dévié de la position normale vers la gauche du lecteur ; il ne le peut pas dans le sens contraire.

95. Heurtoir et glissière. — On ne saurait, dans cette description, séparer l'arc-boutant du heurtoir qui lui fournit son point d'appui, et de la glissière qui dirige ses mouvements (pl. XXXIV, page 198).

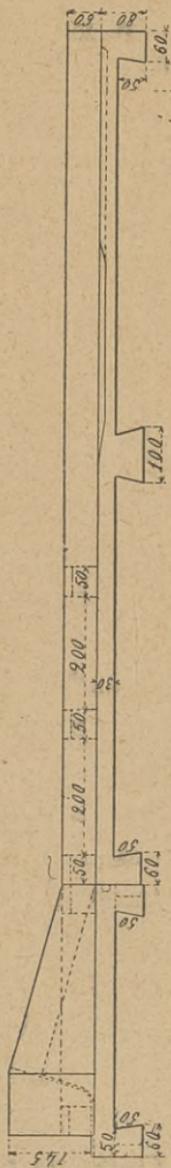
La pièce, en fonte, présente, juste dans l'axe de la hausse, un double plan incliné. Vers l'amont la chute est brusque et constitue l'arrêt, vers l'aval la pente est douce.

Lors de l'abatage, l'arc-boutant sollicité par la barre à talons peut, grâce au jeu de l'articulation, quitter son arrêt ; la poussée de l'eau sur la hausse le fait alors reculer et il s'abat mais en suivant le contour d'une joue courbe qui le ramène dans le plan perpendiculaire à l'articulation.

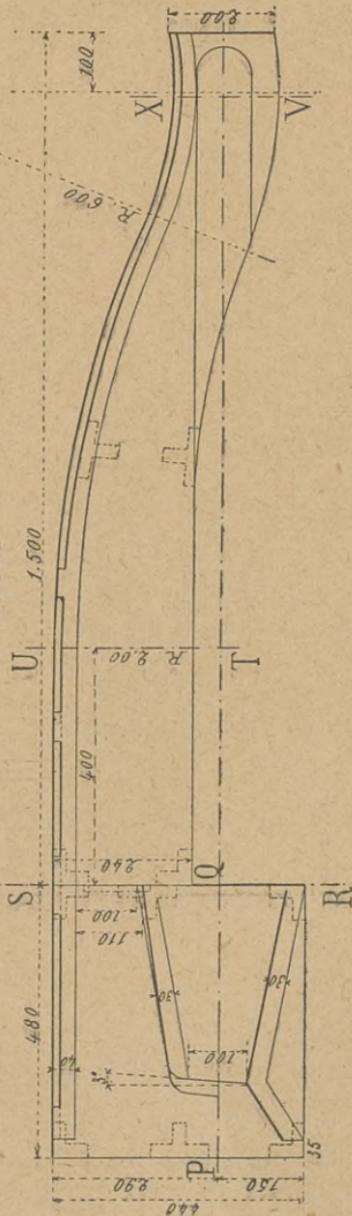
Lors du relevage, l'arc-boutant suit la ligne droite ; son pied remonte doucement le plan incliné d'aval et, retombant brusquement derrière le plan incliné d'amont, se retrouve en place lorsque le chemin parcouru est complet. Le bruit que fait l'arc-boutant, en retombant comme il vient d'être dit, est le signal auquel on reconnaît que l'on peut abandonner la hausse à elle-même.

96. Barre à talons. — La barre à talons se compose d'une barre de fer méplate, de 0 m. 080 de largeur sur 0 m. 030 d'épaisseur, armée de talons en saillie de 0 m. 090 espacés de telle sorte que chaque arc-boutant soit successivement entraîné par le déplacement de la barre. Ce déplacement a besoin d'être facilité autant que possible et soigneusement guidé.

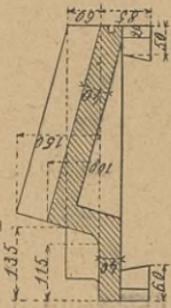
Elevation



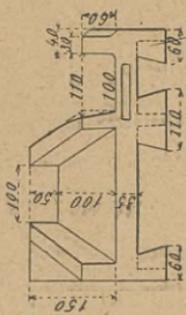
Plan



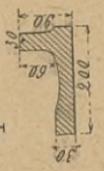
Coupe suiv^t-PQ



Elevation sur RS



Coupe sur VX



Coupe sur TU



A cet effet, la barre est supportée, de distance en distance, par des rouleaux horizontaux sur lesquels elle roule tandis que des crochets supérieurs l'empêchent de se soulever (pl. XXXV, page 200). D'autre part, tout déplacement transversal est empêché par des glissières consistant chacune en deux fers ronds, entre lesquels coule un guide fixé à la barre. De cette manière, le mouvement de cette dernière est étroitement circonscrit dans le sens d'un va et vient longitudinal, c'est-à-dire normal au cours de l'eau.

La barre à talons est placée un peu en saillie sur le radier, pour éviter les dépôts, et immédiatement en amont des heurtoirs sur lesquels s'appuient les arcs-boutants.

La barre à talons est manœuvrée de la rive, au moyen d'un mécanisme logé dans un puits ménagé, à cet effet, à l'intérieur des maçonneries. Aux barrages de la Meuse belge, on a donné à ces mécanismes une puissance de 12.000 kilogrammes, afin de pouvoir broyer un caillou qui s'interposerait entre un talon et un point fixe. C'est à coup sûr une sage précaution ; la barre à talons est un organe fort ingénieux, mais aussi fort sujet aux arrêts et aux avaries ; il est bon de lui donner, ainsi qu'aux mécanismes qui la commandent, la force nécessaire pour prévenir autant que possible ces accidents.

Il y aurait déjà là une bonne raison pour ne pas trop allonger la barre à talons. D'autre part, l'obligation de donner aux talons un écartement différent de celui des hausses ne permet pas d'actionner un nombre très considérable de hausses avec une même barre, le déplacement longitudinal de celle-ci devant toujours rester inférieur à l'écartement de deux hausses consécutives. On est cependant arrivé à augmenter¹ notablement ce nombre en employant l'artifice suivant. Les premières hausses seules sont abattues isolément ; les suivantes le sont par groupes de 2, de 3, etc..., et les talons qui

1. Au barrage de Melun, sur la Haute-Seine, une même barre à talons, avec un déplacement de 0 m. 96 seulement, actionne 25 hausses.

actionnent les hausses d'un même groupe ayant juste le même écartement que ces hausses.

Quand la largeur de la passe est telle qu'une seule barre à talons serait insuffisante, on a recours à deux barres manœuvrées, l'une d'une rive, l'autre de l'autre¹. Dans ce cas, les deux barres présentent des dispositions symétriques, et il en est de même des heurtoirs et des glissières, ainsi que d'un certain nombre d'autres organes des hausses commandées par chaque barre. Ce fait donne au lecteur l'explication de la mention *rive droite* ou *rive gauche* inscrite sur certaines figures des planches.

On a quelquefois armé aussi la barre de contre-talons qui viennent buter contre les arcs-boutants lorsque ceux-ci sont sur leurs arrêts et qui empêchent ainsi tout mouvement spontané susceptible d'entraîner la chute d'une hausse. Pour remplir leur office, les contre-talons doivent laisser entre eux une distance précisément égale à l'écartement des hausses d'axe en axe, tandis que la distance entre les talons est un peu supérieure ou un peu inférieure suivant l'ordre dans lequel s'abattent les hausses. Les contre-talons quittent donc tous à la fois les arcs-boutants tandis que les talons ne viennent en prise avec ceux-ci que successivement. Cette disposition donne évidemment toute garantie contre les dangers de la chute imprévue d'une hausse, mais elle complique une pièce déjà peu simple; elle multiplie les chances d'arrêt ou d'avarie; ses avantages sont discutables.

Lorsque la manœuvre d'abatage a été exécutée et que la barre à talons a effectué sa course, il ne faut pas manquer de la ramener aussitôt à sa position initiale. En effet, si on oubliait de le faire avant de relever les hausses, il serait impossible d'y revenir, parce que les arcs-boutants, une fois en place, fermentaient la passage aux talons.

1. C'est ainsi que sont installées les passes navigables des barrages de la Haute-Seine, passes dont la largeur varie de 40 m. 40 à 54 m. 70 et atteint même, à Melun, 65 m. 10.

Une partie du mécanisme qui commande la barre à talons est placée au fond d'un puits, c'est-à-dire au milieu d'une eau calme où les dépôts se forment volontiers et qui se tient au niveau du bief d'aval. Il faut se ménager la possibilité d'introduire les eaux d'amont dans ce puits ; on peut alors opérer des chasses énergiques qui nettoient la partie inférieure des mécanismes et en assurent le bon fonctionnement.

Dernière recommandation ; chaque année, pendant la belle saison, la barre à talons doit faire l'objet d'une vérification minutieuse effectuée au moyen du scaphandre, par un agent expérimenté. Après cette vérification, et une fois effectuées les réparations dont elle a pu faire constater la nécessité, on peut être certain d'un bon fonctionnement la première fois qu'on se servira de la barre ; il n'en est plus de même à la deuxième, à la troisième.... manœuvre d'abatage. Alors, il ne faut pas être surpris si quelques hausses restent debout et doivent être abattues à la main.

97. Plaque de recouvrement de M. Lambert. — Nous ne nous étendrons pas davantage sur la barre à talons ; le lecteur désireux d'avoir plus de détails les trouvera en abondance dans le *Cours de navigation intérieure* de M. de Lagrené (tome III, pages 226 et suivantes). Nous mentionnerons cependant encore un perfectionnement intéressant qui a été apporté à cet organe sur certains barrages de l'Yonne.

Lorsqu'après quelque temps de service, les articulations des différentes pièces ont pris du jeu, il peut arriver, lors du relevage d'une hausse, si la traction exercée sur la culasse est exagérée, que le pied de l'arc-boutant, entraîné vers l'amont au-delà du heurtoir, passe par dessus la barre à talons et revienne s'engager en dessous ; il est alors très difficile de remettre les choses en ordre.

La figure 54 montre la disposition imaginée, pour parer à ce sérieux inconvénient, par M. Lambert, jadis chargé d'une subdivision dans le service de la navigation de

l'Yonne. En arrière de la barre à talons, au droit de chaque heurtoir, est fixée au radier une pièce de fonte, qu'on pourrait appeler contre-heurtoir, présentant une face verticale à l'aval et un plan incliné vers l'amont. Il est clair que

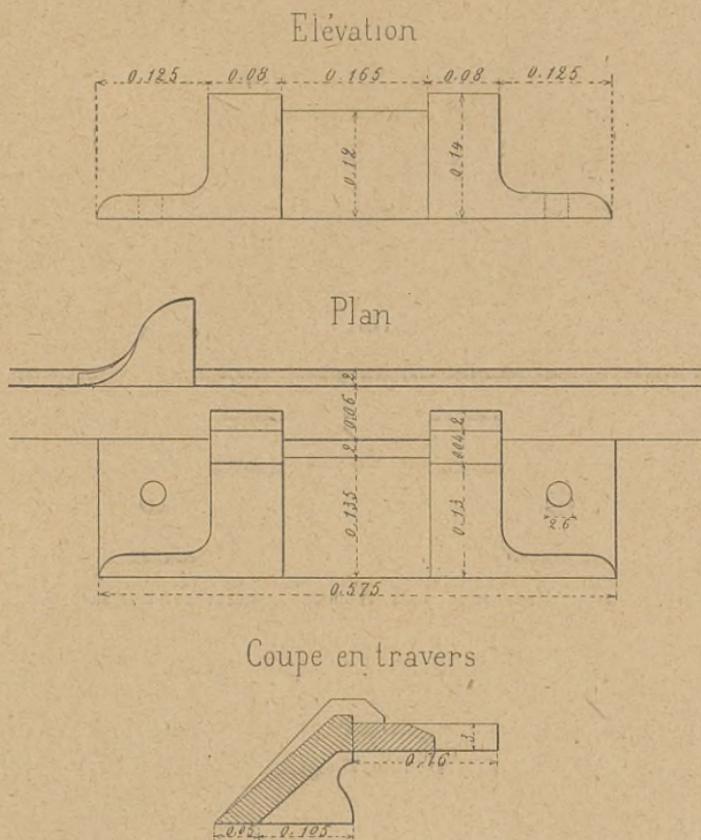


Fig. 54.

si le pied de l'arc-boutant, entraîné avec trop de violence vers l'amont, dépasse la barre à talons, il ne pourra plus s'engager dessous et que le plan incliné rendra facile son retour à sa position normale. Les joues du contre-heurtoir, prolongées vers l'aval, s'opposent d'ailleurs au soulèvement de la barre à talons et remplacent très efficacement les crochets primitivement affectés à cet usage.

§ 5

PARTIES FIXES. — APPRÉCIATION DU SYSTÈME

98. Radier. — Sur ce point, il nous reste peu de chose à ajouter à ce que nous avons dit plus haut (page 112) du radier des barrages Poirée. Aussi bien, quand il s'agit de hausses manœuvrées d'une passerelle de service établie sur fermettes, toute la partie amont n'est-elle qu'un radier de barrage Poirée. Dans ce cas, il y a en réalité double radier et il n'est pas surprenant que la longueur totale des maçonneries soit considérable. C'est le cas du barrage de Couzon, sur la Saône, dont la planche XXVII (page 169) donne une coupe transversale, en dehors de laquelle se trouve encore le vannage de pieux et palplanches d'amont. La longueur totale est de 16 à 17 mètres ; elle aurait pu être réduite à moitié en supprimant les fermettes et en se servant d'un bateau de manœuvre.

Si nous passons à la partie aval du radier, à celle qui constitue, à proprement parler, le radier du barrage Chanoine, nous aurons à signaler, comme caractéristiques du système, successivement, en allant de l'amont à l'aval (pl. XXVIII, page 171) :

1° Un seuil, généralement en bois, encastré et ancré dans une chaîne de pierre de taille, laquelle est elle-même, au moyen de tirants verticaux en fer et de disques en fonte, ancrée dans le béton de fondation, ainsi que nous l'avons vu pour les barrages à fermettes. La face antérieure du seuil porte une garniture métallique destinée à la préserver de l'effet du choc des hausses.

2° Une pièce de bois parallèle au seuil, encastrée dans une chaîne en pierres de taille immédiatement à l'amont des heurtoirs ; c'est sur cette pièce que sont fixés les supports et les guides de la barre à talons.

3° Les pierres de taille où sont scellés les heurtoirs et les glissières, les dites pierres épaulées du côté d'aval par un massif de maçonnerie suffisant pour résister aux efforts de glissement transmis aux heurtoirs par les arcs-boutants.

Nous avons déjà mentionné plus haut (page 174) les dés ou tins en pierre, en saillie sur le radier de certains barrages, pour recevoir dans une position convenable les hausses abattues.

99. Avantages et inconvénients des barrages Cha-noine. — Ces ouvrages donnent des résultats très satisfaisants au point de vue de l'élançhèité. Chaque hausse, construite à l'atelier avec tous les soins voulus, constitue un panneau complètement étanche ; l'intervalle entre deux hausses consécutives, bien que notable, peut être aisément bouché ainsi que nous l'avons expliqué plus haut.

La crête des hausses forme déversoir ; si donc ces hausses sont suffisamment stables et si les berges du cours d'eau canalisé sont assez élevées, on peut, dans une certaine mesure, laisser la lame déversante s'accroître à la demande du débit de la rivière. Il est bien entendu, d'ailleurs, que l'écoulement de l'eau sera, en tant que de besoin, facilité par l'ouverture des vannes-papillons. De là la possibilité de laisser passer de petites crues sans faire ou presque sans faire de manœuvres, ce qui est avantageux à tous les points de vue. En effet, l'expérience prouve que les manœuvres faites à la demande des variations du débit du cours d'eau ont, généralement, pour effet d'accentuer l'importance de ces variations.

Les hausses sont-elles suffisamment sensibles ? Si les eaux continuent à monter, la mise en bascule d'un nombre assez grand d'éléments permet dans bien des cas d'éviter l'abatage complet ; tandis que, s'il survient une crue imprévue, le mouvement spontané des hausses garantit contre toute élévation soudaine importante du niveau de la rivière.

Enfin, quand l'abatage est devenu inévitable, il s'effectue avec une facilité et une rapidité remarquables. D'après les

résultats d'expériences faites en 1865, à Melun, sur la Haute Seine, la durée moyenne d'ouverture d'une passe de 65 m. 10 de longueur a été de 5 minutes et 15 secondes.

On voit combien sont variées les ressources dont on dispose pour assurer le règlement de la retenue et l'écoulement des eaux dans toutes les circonstances.

L'abatage presque instantané constituait un avantage inappréciable à l'époque où la navigation se faisait par éclusées. Avec la navigation continue, les besoins ne sont plus les mêmes ; cependant la rapidité d'ouverture *combinée avec le mouvement des hausses de l'amont vers l'aval* peut encore être précieuse dans certains cas *exceptionnels*, notamment pour donner passage aux corps flottants et surtout aux glaces. Sur la Haute Seine et sur l'Yonne, à diverses reprises, l'abatage des hausses de la passe navigable alors que le cours d'eau était déjà complètement couvert de glaces, ou leur basculement spontané sous la pression des glaçons en mouvement, a sauvé la situation qui, avec des barrages à fermettes, aurait été gravement compromise. *C'est peut-être là le plus sérieux avantage des barrages Chanoine.*

En regard de ces divers et très réels avantages, nous devons constater des inconvénients non moins certains.

Les barrages Chanoine se prêtent mal à un changement dans le niveau de la retenue. Entre les longueurs des deux parties de la hausse, entre la longueur de cette hausse et celle du chevalet, entre les longueurs respectives du chevalet et de l'arc-boutant, il y a des relations nécessaires, et ces relations cessent d'exister dès qu'une des données est modifiée. Il y a là un défaut d'élasticité dont la conséquence est qu'une simple modification dans le niveau de la retenue rend obligatoire une refonte complète des organes mobiles du barrage.

Si le basculement spontané des hausses peut avoir quelques avantages pour l'écoulement d'une crue imprévue, il a de très sérieux inconvénients au point de vue de la régularité du régime du cours d'eau. Chaque basculement spontané pro-

voque dans le bief d'aval un flot qui a chance d'être accentué par les manœuvres des barrages inférieurs, et le flot a pour conséquence un affameur qui se répercute de la même manière, non sans gêner la navigation. S'il y a des usines sur le cours d'eau principal ou sur ses affluents, leur force motrice est troublée et le Conseil d'Etat n'a pas hésité à mettre ces perturbations à la charge du Trésor. En définitive, on est amené à cette conclusion qu'il convient de diminuer la sensibilité des hausses, en raison des inconvénients que présente leur basculement spontané au point de vue de la régularité du régime.

Ce basculement spontané peut d'ailleurs être un danger pour les parties fixes du barrage, et il en est de même de l'abatage complet et rapide. Ce n'est pas impunément qu'on provoque la brusque irruption de toute l'eau d'un bief dans le bief inférieur. C'est une manœuvre qui ne doit être pratiquée qu'avec la plus grande réserve, et autant que possible alors que la chute a en partie disparu.

L'abatage partiel et lent au moyen de la barre à talons présente un danger analogue parce qu'il s'exécute dans un ordre immuable. Il s'en suit que, si on n'abat que quelques hausses, ce seront toujours les mêmes qui tomberont de sorte que le radier, en face d'elles, sera, à toutes les crues, attaqué au même point, ce qui peut avoir des inconvénients au point de vue des affouillements et du remous.

La mise en bascule à la main, elle-même, produit encore des effets du même genre. On peut, il est vrai, répartir l'écoulement comme on le veut dans la passe, en ne touchant pas à la barre à talons. Mais chaque hausse qui bascule ouvre passage à une nappe fluide d'une très grande puissance dont l'effet local est toujours à redouter.

Les manœuvres peuvent donner lieu à des mécomptes et présenter certaines difficultés. A l'abatage, c'est la barre à talons qui ne fonctionnera pas ou qui fonctionnera incomplètement; un certain nombre de hausses resteront debout. Au relevage, c'est une hausse qui s'évitera au courant avec une

précision telle qu'il faudra une traction très énergique sur la volée pour la faire sortir de cette position d'équilibre, ou même qui continuera son mouvement de rotation jusqu'à venir s'appuyer sur l'arc-boutant par le sommet de la volée, tandis que la culasse offrira sa face aval en prise en courant.

Il ne faudrait cependant pas exagérer l'importance de ces difficultés. Avec le treuil différentiel de M. Maurice Lévy, si on dispose d'une passerelle de service, et, dans le cas contraire, avec un bon bateau de manœuvre, employé comme on le fait maintenant sur l'Yonne, on en vient toujours à bout¹, non sans peine quelquefois, bien entendu.

Le plus grand reproche qui pourrait, selon nous, être fait au barrage Chanoine serait la nécessité de l'addition d'une passerelle de manœuvre sur fermettes, si cette passerelle était réellement indispensable.

Nous avons vu qu'on était conduit à la constituer avec des fermettes aussi robustes que si elles devaient supporter des aiguilles. Elle pourrait donc suffire, à elle seule, pour fermer la passe. Alors, à quoi bon des hausses? D'autre part, la passerelle fait disparaître le principal avantage des barrages Chanoine qui est de s'ouvrir très rapidement de l'amont vers l'aval et, en conséquence, de pouvoir laisser passer sans encombre les corps flottants qui se présentent inopinément, notamment les glaces.

Mais nous estimons que l'addition en question n'est pas indispensable. Il ne faut pas oublier que les premières passe-

1. Voici, par exemple, comment on procède pour abattre une hausse restée debout par suite d'un défaut de fonctionnement de la barre à talons.

Sur le sommet de la volée de la hausse on exerce une traction énergique vers l'amont de manière à détacher légèrement l'arc-boutant de son arrêt; on supprime ainsi ou du moins on atténue fortement l'énorme frottement que la pression de l'eau développe entre ces deux pièces.

A l'aide d'une gaffe spéciale, on écarte l'arc-boutant, on le dégage de son arrêt et alors, guidée par le treuil qui a servi à exercer la traction énergique mentionnée ci-dessus, la hausse, avec toutes les pièces annexes, tombe doucement sur le radier.

Notons en passant qu'en pareil cas l'existence de contre-talons pourrait avoir de sérieux inconvénients.

relles établies à l'amont de hausses Chanoine l'ont été pour permettre de manœuvrer à la main des déversoirs qui, dans l'esprit de l'inventeur, devaient fonctionner d'une manière entièrement automatique. Ça a été un expédient pour pallier un insuccès dans un cas particulier et pour tirer parti d'ouvrages qui seraient restés inutiles sans cela. Mais les exemples de barrages Chanoine sans passerelle ne manquent pas et si l'on devait aujourd'hui proposer de nouvelles applications du système, il ne faudrait le faire, à notre avis, que dans des conditions qui permissent d'éviter la passerelle.

Sous cette réserve, nous estimons que les barrages à hausses Chanoine dont il existe de nombreux spécimens, tant en France qu'à l'étranger, sont susceptibles d'être encore employés avec avantage dans certaines circonstances.

§ 6

MODIFICATION DU BARRAGE CHANOINE SYSTÈME PASQUEAU

100. Glissière à deux crans. — Frappé des inconvénients que peut présenter la barre à talons dans les barrages Chanoine, M. l'inspecteur général Pasqueau a cherché et a trouvé le moyen de s'en passer en employant une glissière spéciale dite à deux crans ou à crémaillère (pl. XXXVI, page 211). Voici la description qu'il en donne ¹.

« La glissière présente, en avant du heurtoir ordinaire que
« nous appelons *cran d'arrêt*, un second heurtoir dont la
« face verticale forme un angle très aigu avec l'axe du cou-

1. *Barrage de la Mulatière sur la Saône à Lyon ; notice sur le nouveau système de hausses, breveté S. G. D. G., approuvé pour ce barrage ; par M. A. Pasqueau, ingénieur des Ponts et Chaussées. Lyon, imprimerie Pitrat aîné, 1879.*

« loir. Nous désignons ce heurtoir additionnel sous le nom de
 « *cran de départ* et nous appelons *glissière à deux crans*
 « l'ensemble de la glissière ainsi modifiée.

« Le relèvement de la hausse se fait comme dans le système
 « ordinaire. Le barragiste tire sur la chaîne de culasse jusqu'à
 « ce que l'arc-boutant vienne tomber sur le cran d'arrêt. Il
 « est averti de ce fait par le bruit de l'arc-boutant tombant
 « sur la glissière ou par l'arrivée au treuil d'une maille mar-
 « quée par un index dans ce but. Il lui suffit ensuite de lâcher
 « la chaîne avec le frein pour redresser le panneau et fermer
 « la partie correspondante de la passe.

« L'abatage, au contraire, s'effectue, *dans notre système,*
 « d'une manière *entièrement nouvelle et des plus simples.*

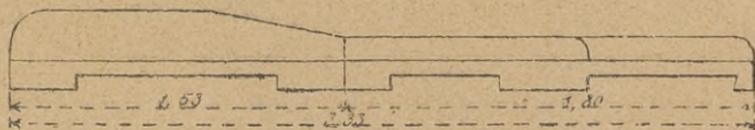
« Il suffit, en effet, pour abattre la hausse, de tirer la chaîne
 « de culasse pour mettre le panneau en bascule, de continuer
 « la traction jusqu'à ce que l'arc-boutant vienne tomber sur
 « le cran de départ et de lâcher ensuite lentement la chaîne
 « avec le frein du treuil. L'arc-boutant *se dirige spontanément*
 « *vers le couloir* par l'action du plan incliné formant la
 « face verticale de ce cran et la hausse vient se coucher dou-
 « cement *sans aucune espèce de choc*, comme si elle était
 « conduite à la main par l'éclusier jusque sur les dés disposés
 « pour la recevoir. »

Ainsi se trouve supprimée la barre à talons. Il suffit d'ame-
 ner la hausse au-delà de sa position normale, en la remontant
 un peu vers l'amont, pour que l'arc-boutant, quittant son
 arrêt, tombe dans une rainure où il n'a plus pour appui qu'un
 plan fortement incliné. Il obéit alors à la poussée de la hausse
 et suit cette rainure comme précédemment.

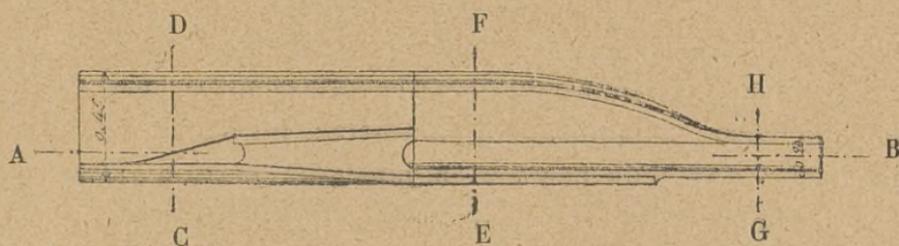
Indépendamment de la suppression d'un organe parfois
 rebelle, M. l'inspecteur général Pasqueau signale encore
 d'autres avantages comme étant la conséquence de cette modi-
 fication.

D'abord, chaque hausse est complètement indépendante de
 ses voisines ; elle contient en elle-même tout ce qui est néces-

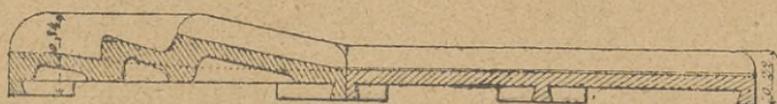
ÉLÉVATION LATÉRALE



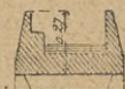
PLAN



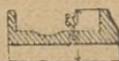
COUPE AB



COUPE CD



COUPE EF



COUPE GH



saire à sa manœuvre, tant à l'abatage qu'au relèvement ; dès lors, la largeur de la passe n'est plus limitée.

L'abatage s'opère sans choc, en déposant chaque hausse sur le radier et dans un ordre quelconque, ce qui, au point de vue des remous et des affouillements, est un avantage précieux.

Le nouvel organe est aussi simple, aussi rustique que l'ancien était délicat et compliqué. Il permet même, si on le jugeait utile, d'ajouter au delà du cran d'arrêt un troisième cran, à l'aide duquel on pourrait donner une inclinaison plus forte à la hausse et fixer l'arête déversante du barrage au-dessous du niveau normal de la retenue.

Enfin, il est non seulement simple, mais encore économique, d'abord par son prix d'achat qui est à très peu de chose près celui des anciennes glissières, ensuite et surtout parce que, chaque hausse se suffisant à elle-même, on peut fractionner la construction d'un barrage en plusieurs portions séparées par des batardeaux intermédiaires, ce qui donne de grandes facilités pour la construction. Cette possibilité n'existe pas dans les barrages Chanoine, eu égard à la nécessité de poser et d'ajuster la barre à talons sur la longueur entière de la passe.

101. Barrage de la Mulatière sur la Saône. — Application de ce système a été faite au barrage de la Mulatière établi à Lyon, sur la Saône, immédiatement en amont de son confluent avec le Rhône, dans des conditions particulièrement délicates ¹.

Le barrage de la Mulatière comporte une seule passe large de 103 m. 60. La retenue d'amont s'élève à 4 mètres au-dessus du seuil, tandis que la chute à l'étiage du Rhône est, en moyenne, de 2 m. 60. La manœuvre des hausses se fait du haut d'une passerelle de service construite à l'amont. A raison de la croissance rapide des crues du fleuve et de la nécessité

1. Le projet a été approuvé par l'administration en 1879.

de se donner quelques heures pour faire les manœuvres, on a été conduit à placer la passerelle de service à 2 mètres au-dessus de la retenue normale.

Les hausses, au nombre de 69, ont 4 m. 36 de hauteur sur 1 m. 40 de largeur ; elles sont espacées de 1 m. 50 d'axe en axe ; l'intervalle entre deux hausses consécutives est donc de 0 m. 10. Elles sont articulées à leur milieu et par suite ne peuvent pas basculer spontanément. Leur inclinaison sur la verticale est de $2/7$, ce qui correspond à un angle de $15^{\circ}56'43''$; cette pente très accusée a dû être adoptée pour réduire autant que possible l'effort d'arrachement sur le radier.

Toutes les manœuvres se font au moyen d'un petit treuil à vapeur, circulant sur la passerelle de service (fig. 55). On compte huit heures pour le relèvement et quatre heures et demie pour l'abatage sur toute la longueur de 103 m. 60.

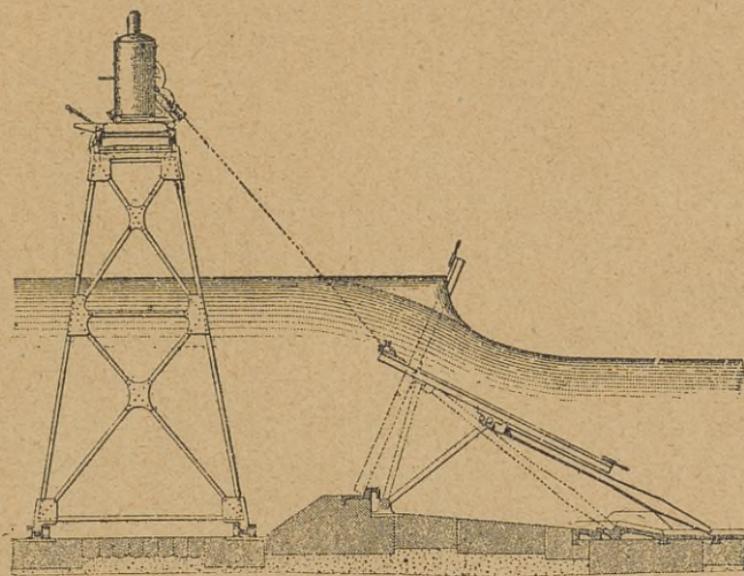
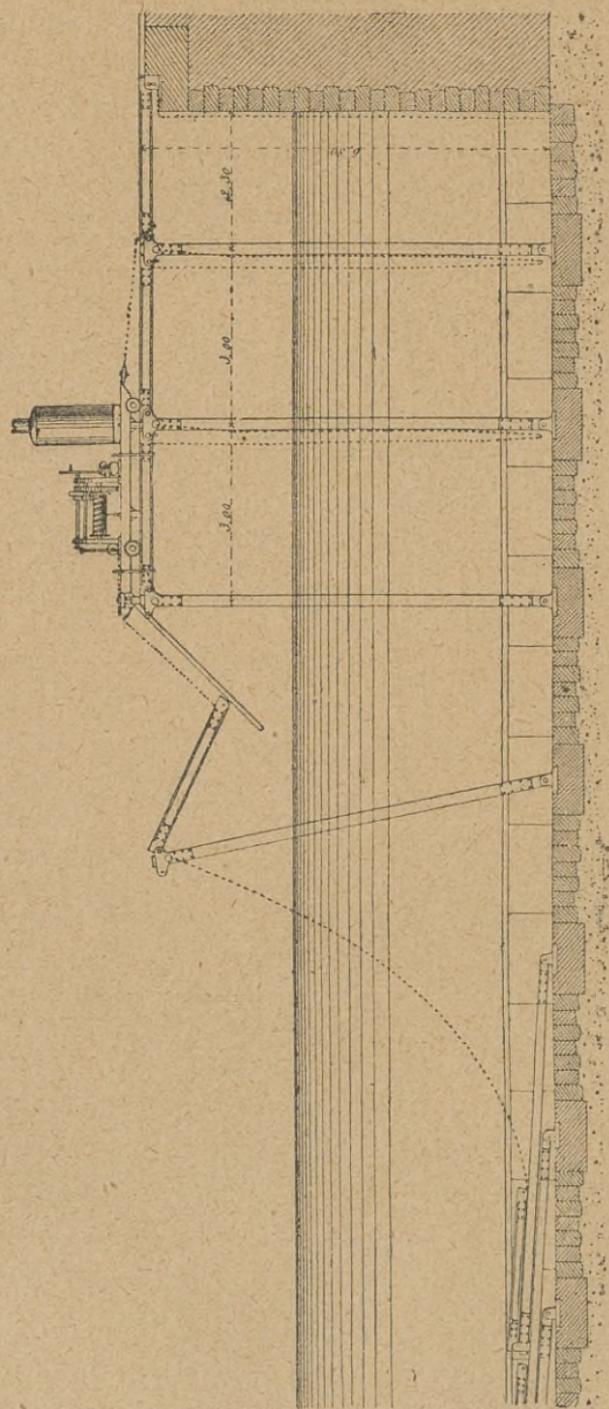


Fig. 55.

Les hausses sont pourvues de vannes-papillons de 1 m. 55 sur 0 m. 90, que des engins spéciaux permettent de fermer et d'ouvrir avec facilité.

Elles sont construites en métal. La carcasse se compose de



Pl. XXXVII. BARRAGE DE LA MULATIERE. — MANOEUVRE DES FERMETTES DE LA PASSERELLE

fers en **L** supportant un bordage en tôle de 4 millimètres, ourlé d'une cornière de 0 m. 06.

Le mode d'articulation du chevalet avec le radier diffère complètement de celui que nous avons précédemment décrit. Chaque montant est terminé par un œillet qui vient se placer dans une fourche à œillets scellée au radier ; les deux pièces sont réunies par un arbre en acier, goupillé sur rondelle à ses deux extrémités, passant dans les trois œillets.

Le seuil est en fonte et ici l'emploi de ce métal ne présente pas d'inconvénients. Les hausses sont articulées en leur milieu et par conséquent entièrement stables ; elles sont d'ailleurs conduites exclusivement au treuil dans tous leurs mouvements ; les chocs ne sont plus à craindre.

Les fermettes qui portent la passerelle de service ont 6 m. 80 de hauteur. Or, avec cette dimension, si l'on avait placé une fermette en correspondance avec chaque hausse, on aurait eu une superposition de cinq fermettes nécessitant un encuvement de 1 m. 20 de profondeur, très gênant au point de vue des ensablements et même de la construction première.

On a préféré espacer les fermettes de 3 mètres et les réunir par un tablier métallique dont les éléments sont attachés aux fermettes et se replient avec elles, lorsqu'elles se couchent sur le radier. Pour éviter que l'épaisseur de ces éléments de tablier s'ajoute à celle des fermettes quand tout le système est couché, on a adopté une disposition fort simple qui permet à chaque élément d'avoir une portée un peu moindre que l'espace qu'il franchit et, par conséquent, de n'être jamais engagé sous la fermette suivante. Chaque fermette porte à sa partie supérieure deux axes distincts, espacés de 0 m. 34, qui servent l'un à l'articulation de l'élément correspondant, l'autre à l'accrochage de l'élément suivant. On amène les éléments successifs en place au moyen d'une gaffe de garde manœuvrée par le treuil à vapeur (pl. XXXVII).

La dernière travée est franchie par une passerelle roulante qui se replie sur la culée voisine.

Enfin, les fermettes sont de forme trapézoïdale symétrique et semblent conçues en vue de servir de simples supports, bien qu'elles aient à résister à des efforts transversaux résultant de la traction exercée sur les hausses par le treuil à vapeur.

Tel est, sommairement décrit, le barrage de la Mulatière qui mérite de fixer l'attention des ingénieurs, tant par ses dimensions que par les innovations qu'il a réalisées. La glissière à deux crans, notamment, constitue une disposition tout à fait remarquable.

Par contre, il faut reconnaître qu'on se prive dans ce système d'un des principaux avantages du barrage Chanoine. En lui enlevant la barre à talons, on supprime sa propriété caractéristique de pouvoir être ouvert en quelques minutes de la rive en cas de péril provenant de l'arrivée soudaine de corps flottants ou de glaçons.

Depuis sa mise en service, le barrage de la Mulatière s'est toujours parfaitement comporté ; toutefois on a pu constater que les fermettes de la passerelle de service étaient un peu faibles, sinon pour la manœuvre des hausses, du moins pour les efforts transversaux qu'elles ont à supporter pendant leur propre relevage. Lorsqu'elles sont couchées, elles se recouvrent de gravier et en voulant les dégager on les a souvent cassées. Mais cette défectuosité est indépendante de l'ensemble du système dont elle ne saurait infirmer la valeur.

102. Barrage de l'île Davis sur l'Ohio. — Comme les barrages mobiles précédemment décrits, le système Pasqueau a été reproduit à l'étranger. Nous en trouvons une importante application en Amérique sur l'Ohio. Au Congrès international de l'utilisation des eaux fluviales, tenu à Paris lors de l'Exposition de 1889, M. Merill, alors colonel dans l'armée américaine, en exposant les remarquables travaux exécutés par lui sur l'Ohio, a fait à ce sujet une très intéressante communication qui peut se résumer comme il suit.

Aux Etats-Unis, quand on a voulu améliorer les rivières, on

a commencé par étudier les divers systèmes de barrages mobiles construits en France, afin de déterminer l'espèce d'organes qu'on devrait employer. On considérait comme indispensable d'avoir pour les passes navigables un système offrant de sérieuses garanties et à l'abri de tout accident. Si une crue arrivait subitement on voulait être sûr que la passe navigable serait ouverte pour lui livrer passage.

On a reconnu que deux systèmes seulement répondaient à ce programme, celui de M. Poirée et celui de M. Chanoine. C'est ce dernier auquel on s'est arrêté, parce qu'on a été effrayé du nombre des pièces qu'on est obligé de porter en magasin pour un barrage de très grande longueur établi dans le système Poirée, et qu'on a craint, avec les crues très rapides auxquelles on est exposé, de n'avoir pas toujours le temps d'abattre les fermettes ; or dans ce cas, la navigation eût été interrompue et c'était une éventualité à laquelle il était absolument impossible de s'exposer.

Obligé de prévoir une passe navigable très large au grand barrage de l'île Davis sur l'Ohio, M. Merill avait décidé de lui donner une largeur de 400 pieds (112 m.) à l'époque où il comptait employer la barre à talons. Mais, après avoir vu le système appliqué par M. Pasqueau au barrage de la Mulatière, il a trouvé qu'il y avait là un perfectionnement important, très avantageux dans les circonstances où il se trouvait placé. En supprimant la barre à talons, il devient en effet facile d'augmenter la largeur de la passe navigable ; c'est ce qui a été fait, et actuellement celle du barrage de l'île Davis a une longueur de 559 pieds (170 m. 50) qui sera bientôt portée à 700 pieds (213 m. 50)

Ce barrage a été construit pour être manœuvré de trois façons différentes, du haut d'un pont de service, avec un bateau de manœuvre et au moyen d'une grue roulante circulant sur une voie transversale posée au fond de la rivière.

On a reconnu immédiatement qu'il fallait renoncer à la grue roulante dont le fonctionnement était rendu impossible

par les dépôts de gravier. Les ponts de service de deux des passes ont été emportés par les crues et on a jugé inutile de les reconstruire. Restait donc le bateau de manœuvre, mais avec les dispositions imaginées par M. Chanoine, la longueur du barrage rendait l'opération très pénible pour les hommes. On a alors agrandi le bateau pour y placer une locomobile au moyen de laquelle on manœuvre les hausses à la vapeur.

La manœuvre des hausses au moyen du bateau a d'ailleurs été modifiée en 1888. La rivière ayant été à deux reprises encombrée par les glaces, on a dû faire passer les bateaux de manœuvre par l'écluse à l'aval du barrage pour pousser les hausses vers l'amont, ce qui détermine l'abatage dans le système Pasqueau.

Depuis cette époque, on manœuvre le barrage de la manière suivante. Pour le relever, le bateau de manœuvre est placé à l'amont et on redresse les hausses en les tirant au moyen d'une corde qui passe sur des treuils actionnés par une machine à vapeur. En plaçant le bateau de manœuvre à l'aval, il suffit de renverser le mouvement pour pousser la hausse avec une barre de fer : dans ce cas elle s'abat doucement.

Il résulte de cette communication que, pas plus pour les barrages Pasqueau que pour les barrages Chanoine, la passerelle de service n'est indispensable. Elle peut dans certains cas particuliers se justifier par des considérations spéciales ; elle ne constitue pas une nécessité inéluctable. Il est donc toujours possible de conserver aux barrages mobiles à hausses leur propriété essentielle de s'ouvrir rapidement, d'une façon complète, de l'amont vers l'aval. Nous avons été heureux de trouver dans la communication de l'éminent ingénieur américain la confirmation de nos idées personnelles sur ce point important.

CHAPITRE V

BARRAGES MOBILES A TAMBOUR

§ 1

PREMIERS ESSAIS DE BARRAGES MANŒVRÉS EN UTILISANT LA PUISSANCE MÊME DE LA CHUTE

103. Portes à vantaux en forme de V. — Tout barrage implique une chute et à toute chute correspond une force motrice ; il n'est pas surprenant qu'on ait cherché à appliquer à la manœuvre des barrages la puissance même qu'ils créent. D'ailleurs, tant qu'il ne s'agit que de pertuis de faible ouverture, le problème est simple. Il a été résolu depuis long-

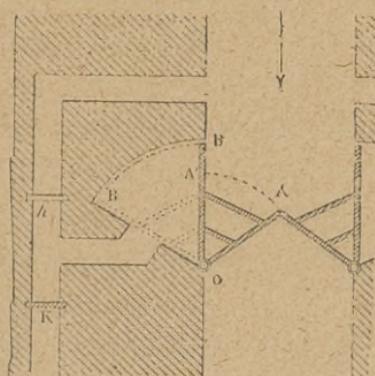


Fig. 56

temps en Hollande, par l'emploi de portes de construction spéciale et d'aqueducs communiquant tantôt avec l'amont tantôt avec l'aval.

On peut citer comme exemple les *portes à vantaux en forme de V* (fig. 56). Deux vantaux busqués¹, OA, sont respectivement fixés à deux autres vantaux plus grands, OB, par des entretoises qui les rendent solidaires les uns

1. On appelle ainsi deux vantaux qui, lorsqu'ils sont fermés, s'appuient l'un contre l'autre en dessinant en plan un chevron dont la pointe se trouve sur l'axe du pertuis.

des autres. L'ensemble AOB d'un petit et d'un grand vantail est mobile autour de l'axe vertical O, de façon à pouvoir stationner ou dans le pertuis ou dans le logement en forme de secteur OBB', qui l'avoisine. Ce logement lui-même communique avec un aqueduc qui va de l'amont à l'aval et deux vannes *h* et K permettent de mettre l'aqueduc en communication avec l'un ou l'autre bief.

La retenue étant tendue, si l'on veut ouvrir la porte, on ferme la vanne *h* et on ouvre la vanne K. La pression s'exerce avec plus d'intensité sur OB que sur OA et la porte s'efface tout entière dans le logement ; la passe est alors libre.

Pour remettre les choses en place, on ouvre la vanne *h* et on ferme la vanne K. La pression s'exerce alors sur OB et repousse la porte, qui reprend d'autant plus vite sa place initiale que le courant agit sur le vantail OA, une fois le mouvement commencé.

104. Portes à vantaux valets. — Nous mentionnerons encore les *portes à vantaux valets* (fig. 57). Dans une porte

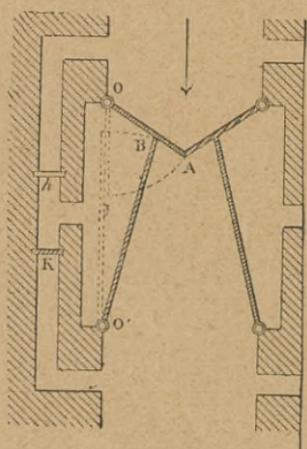


Fig. 57

de ce système, les vantaux OA sont busqués vers l'aval et le courant les ouvrirait s'ils n'étaient soutenus par des vantaux valets O'B mobiles autour de O' et agissant sur OA par l'intermédiaire de galets ou de glissières. Pour ouvrir, on ferme la vanne *h* et on ouvre la vanne K, le vantail valet obéit alors à la pression qu'exerce la retenue sur le vantail OA et tout le système se replie dans l'enclave. Pour fermer, on ferme la vanne

K et on ouvre la vanne *h*, la pression qui s'exerce sur O'B, très notablement plus grand que OA, détermine la fermeture de la porte.

105. Portes américaines. — Les organes⁷ mobiles du barrage de la Neuville-au-Pont, établi sur la Marne, dans le département de la Haute-Marne (pl. XXXVIII), présentent des dispositions empruntées à des ouvrages construits aux Etats-Unis ; d'où leur nom de *portes américaines*.

Chaque porte consiste en deux vantaux mobiles, chacun autour d'un axe horizontal, qui sont rabattus l'un sur l'autre quand le pertuis est ouvert et forment au contraire une sorte de toit quand la retenue est tendue. La hauteur du vantail d'amont est de 4 mètres, celle du vantail d'aval de 6 m. 10, leur largeur commune de 9 mètres. Le vantail d'aval peut rouler sur la face inférieure du vantail d'amont au moyen de galets. Avec cette seule différence que les axes de rotation sont horizontaux au lieu d'être verticaux, l'ensemble correspond exactement à la moitié d'une porte à vantaux valets. On peut aussi assimiler le vantail d'amont à une hausse Thénard et le vantail d'aval à la béquille qui soutiendrait cette hausse.

La manœuvre est produite par le jeu d'un aqueduc qui débouche dans une cavité ménagée tout le long du radier. Quand la communication est établie avec le bief d'amont, il y a, sur la face inférieure des vantaux, une sous-pression qui les soulève. Quand elle est, au contraire, établie avec le bief d'aval, il y a, sur la face supérieure du vantail d'amont, un excès de pression qui fait céder tout le système et l'aplatit sur le radier.

106. Vice commun à ces divers systèmes. — Bien que très sommaires, les descriptions qui précèdent suffisent pour faire comprendre le principe des différents systèmes que nous venons de passer en revue ; elles suffisent aussi pour mettre en lumière le vice qui leur est commun et qui devient d'autant plus grave que le pertuis à fermer est plus large et la quantité d'eau à laquelle il doit donner passage moins considérable.

Dans la pratique, les engins mobiles sont très lourds et don-

ment lieu à des pertes d'eau très importantes. Aussi arrive-t-il souvent qu'au déclin d'une crue qui a nécessité l'ouverture du barrage, et au moment où il faudrait le fermer, la chute produite seulement par les parties fixes de l'ouvrage est insuffisante pour déterminer la mise en mouvement des organes mobiles. Cette déception est surtout à craindre après que des dépôts ou même l'usure ont modifié les conditions de fonctionnement sur lesquelles on pouvait compter au début.

Au barrage de la Neuville-au-Pont, on a remédié à cet inconvénient en plaçant, en amont des portes, des vannes mobiles, disposées absolument comme les contre-hausses des barrages Thénard (pl. XXXVIII), que l'on relève à la main pour créer une chute susceptible de déterminer la mise en mouvement des engins mobiles, et que l'on rabat ensuite.

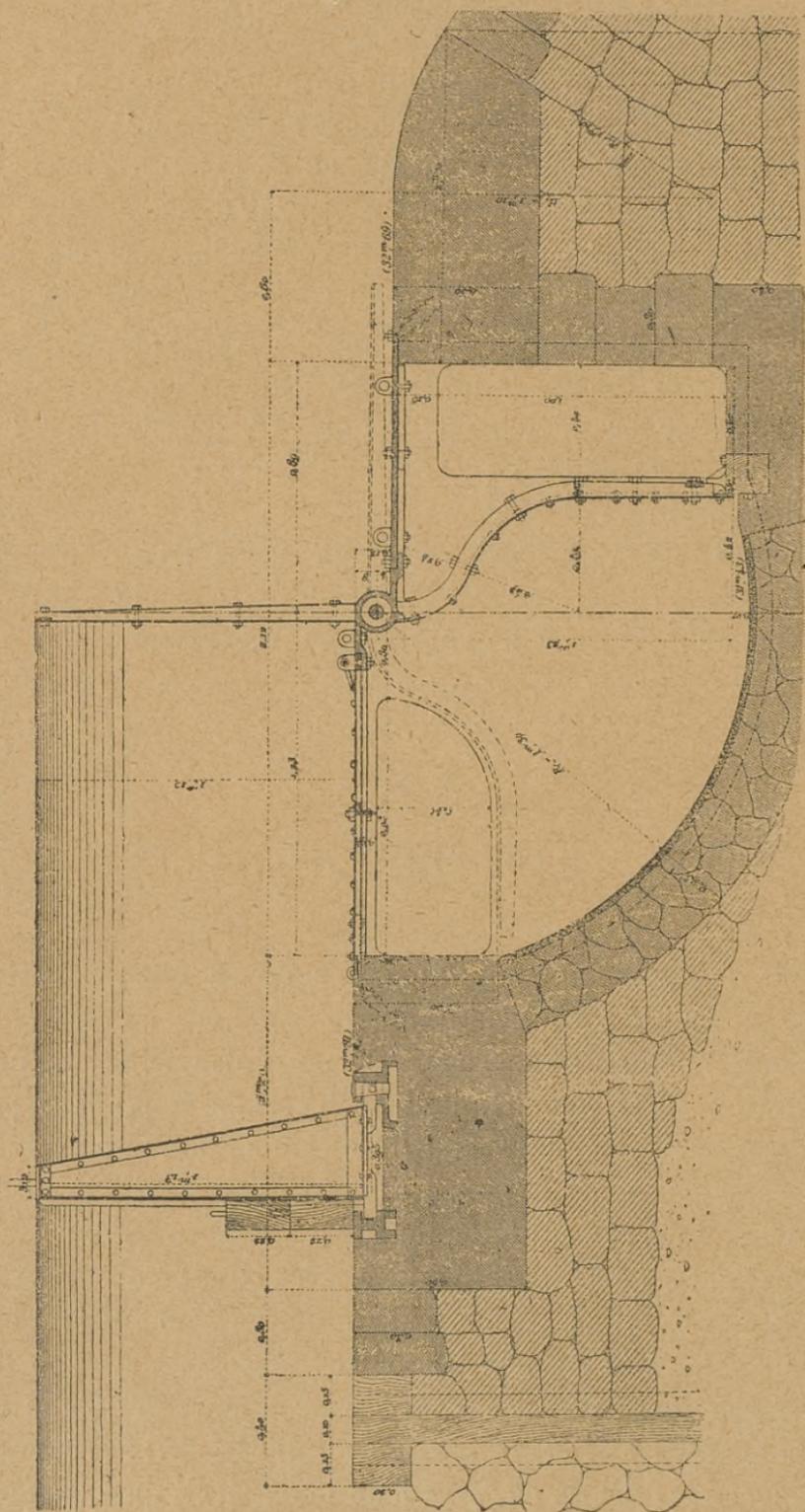
§ 2.

SYSTÈME LOUCHE-DESFONTAINES

107. Application aux barrages de la Marne canalisée. — Malgré les difficultés que nous venons d'indiquer et qui sont inhérentes au principe même de la solution, une application aussi complète qu'ingénieuse en a été faite par M. l'inspecteur général Louche-Desfontaines aux passes hautes, ou passes déversoirs, des barrages de la Marne canalisée, entre Epernay et Charenton.

Douze passes dont la largeur varie de 30 à 63 mètres sont munies des appareils qui portent le nom de M. Louche-Desfontaines. Le plus ancien de ces ouvrages, le déversoir du barrage de Damery, date de 1857 (le plus récent, celui de Noisiel, a été établi dans la période de 1884-1887); c'est donc avec une expérience de près d'un demi-siècle qu'il est possible d'en apprécier la valeur.

COUPE TRANSVERSALE



PL. XXXIX. DEVERSOIR DU BARRAGE DE JOINVILLE-LE-PONT

108. Description. — La description qui va suivre s'applique au déversoir du barrage de Joinville-le-Pont construit par M. Malézieux en 1867¹ (pl. XXXIX).

Le massif de maçonnerie qui constitue le radier est compris entre deux files de pieux et palplanches moisés, dont une seule, celle d'amont, est figurée sur le dessin. Dans ce massif est ménagé un vide central, une sorte de coffre ouvert par en haut sur 2 m. 42 de largeur et régnant d'un bout à l'autre de la passe (sur 63 mètres de longueur dans l'espèce). La section transversale de ce vide figure à peu près un quart de cercle et un rectangle accolés, le quart de cercle du côté d'amont, le rectangle, moins large que haut, du côté d'aval.

Les deux bords de l'ouverture sont formés de plates-bandes en pierre de taille ; celle d'amont est arasée à 4 m. 10 en contrebas de la retenue, soit à 4 m. 06 au-dessus de l'étiage, c'est le seuil fixe du déversoir ; celle d'aval placée à 0 m. 12 plus bas forme le commencement du glacis curviligne sur lequel doit couler la lame déversante.

Cette cavité en maçonnerie, de 63 mètres de longueur, est divisée en tronçons ou *tambours* de 4 m. 50 de longueur chacun, au moyen de grandes plaques de fonte transversales. Ces plaques ou diaphragmes pénètrent de 0 m. 08 dans la maçonnerie sur tout le périmètre de la cavité. Chaque diaphragme est percé de deux grandes ouvertures ; l'une est à l'amont, vers le haut du quart de cercle, elle est plus large que haute et nous l'appellerons *ouverture horizontale* ; l'autre est à l'aval, elle est plus haute que large ; nous l'appellerons *ouverture verticale*.

Chaque tambour est muni d'une grande vanne en tôle susceptible de tourner autour d'une charnière horizontale qui la divise en deux parties à peu près égales, la *hausse* et la *contre-hausse*, la première au-dessus, la seconde au-dessous de la charnière.

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1868, 2^e semestre.

Cette charnière, qui repose par ses extrémités sur les deux diaphragmes limitant le tambour, est plus rapprochée de la plate-bande d'aval que de la plate-bande d'amont et rachète la différence de niveau entre les deux (pl. XL). Elle se compose d'un tube en fonte de 0 m. 42 de diamètre intérieur et d'un arbre en fer concentrique de 0 m. 06 de diamètre, maintenu en place sur la longueur de chaque tambour par 6 collets intérieurs venus de fonte avec le tube.

Quant à la vanne, elle est formée de deux feuilles de tôle de 5 mm. d'épaisseur vissées sur trois bras en fer de 2 m. 44 de hauteur totale. Les bras passent à travers la charnière, en s'y ouvrant sous forme de colliers qui embrassent l'arbre de rotation.

La vanne ne peut décrire qu'un quart de circonférence. La hausse se tient verticalement ou s'abat horizontalement vers l'aval. Quant à la contre-hausse, elle prend des positions correspondantes, mais non identiques. D'abord elle n'est pas dirigée dans le prolongement de la hausse; à son départ de la charnière, elle se contourne brusquement, se porte de 0 m. 42 vers l'aval et reprend seulement alors une direction parallèle à celle de la hausse (pl. XXXIX). Grâce à ce contournement, quand la hausse est abattue, la contre-hausse relevée reste au-dessous de l'*ouverture horizontale* du diaphragme, dont elle affleure le bord inférieur et qui est ainsi complètement démasquée; et d'autre part, quand la hausse est levée, la contre-hausse vient s'aligner par sa face d'aval suivant le bord vertical d'amont de l'*ouverture verticale* du diaphragme, qui reste également démasquée. Le mouvement de la contre-hausse, et par conséquent de la vanne entière lorsqu'elle prend cette seconde position, est limité : 1° par un heurtoir en bois sur lequel s'appuie la rive inférieure de la contre-hausse (fig. 58, page 228); 2° par deux nervures que portent les diaphragmes et qui reproduisent le tracé contourné des rives latérales (fig. 59, page 229); 3° par une troisième nervure horizontale venue de fonte sous le tube de la charnière et contre

laquelle la contre-hausse s'appuie par sa rive supérieure (pl. XL).

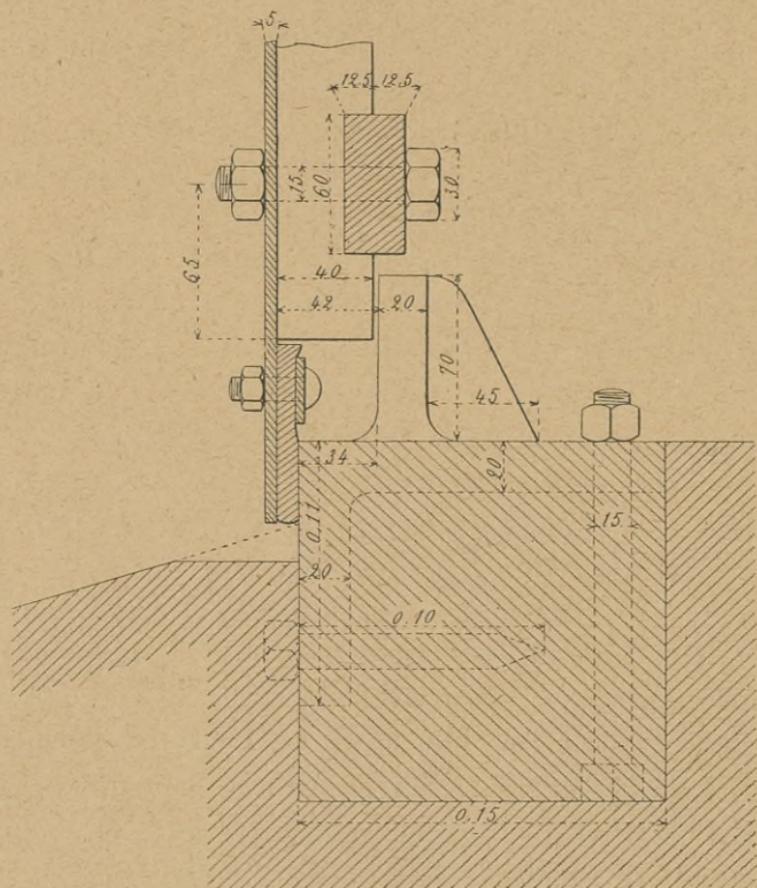


Fig. 58

Dans le quart de cercle qu'elle peut décrire, la contre-hausse se meut à l'intérieur du tambour avec une précision extrême. Elle rase par ses bords, sauf un jeu qui n'excède pas 4 millimètres, les parements plans des deux diaphragmes et le parement cylindrique de la maçonnerie. La fonte a reçu à cet effet les rabotages nécessaires ; quant à la maçonnerie, elle est recouverte d'un enduit en ciment de Portland réglé avec le plus grand soin.

Lorsque la contre-hausse est dressée dans la position qui correspond au relevage, elle s'appuie sur des arêtes saillan-

tes, et on peut admettre qu'elle ne laisse passer d'eau sur aucune de ses quatre rives, l'étanchéité des joints étant assurée par quatre bandes de caoutchouc fixées sur sa face d'aval.

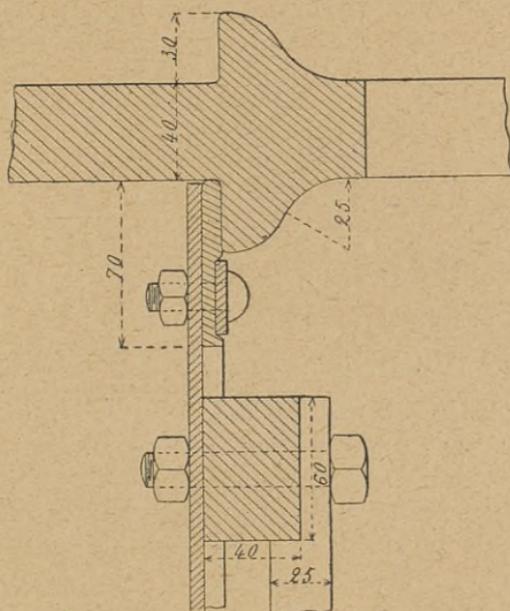


Fig. 59

Dans toute autre position de la contre-hausse, il passe un peu d'eau, si peu que ce soit, par les vides qui existent entre ses rives et les parements du tambour.

En définitive, la contre-hausse divise chaque tambour en deux compartiments d'étendue variable, l'un en amont, l'autre en aval. Chacun de ces compartiments se clôt par le haut au moyen d'une grande plaque horizontale qui s'appuie sur la plate-bande en pierre de taille correspondante, sur les deux diaphragmes et sur une saillie ou appendice horizontal de la charnière en fonte (pl. XL). Cette liaison maintient d'ailleurs la charnière elle-même.

109. Fonctionnement. — Tel est l'ensemble de l'ouvrage. Voyons maintenant son fonctionnement.

Les orifices percés dans les diaphragmes des tambours et

les compartiments correspondants de ces tambours constituent, sur toute la longueur du barrage, deux conduites qui peuvent, à volonté, être mises par un jeu de vannes en communication, soit avec le bief d'amont, soit avec le bief d'aval.

Supposons d'abord la retenue tendue et considérons une vanne en particulier. La conduite d'amont communique avec le bief d'amont et la conduite d'aval avec le bief d'aval. Supérieure à la pression qui s'exerce sur la hausse, à raison du moindre développement de cette dernière et surtout de la différence des profondeurs, la pression qui s'exerce alors sur la contre-hausse la fixe dans sa position verticale et maintient la hausse également verticale.

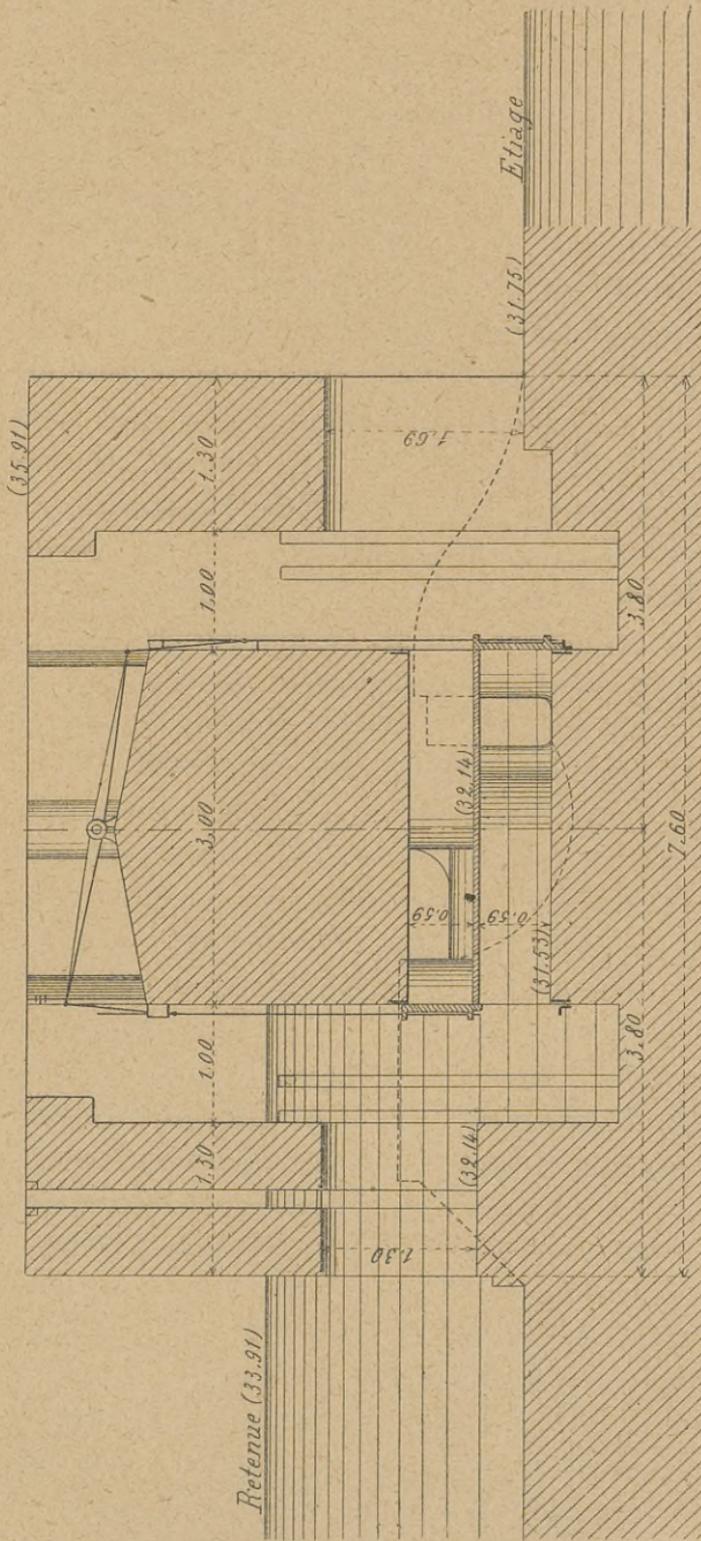
Mettons ensuite la conduite d'amont en communication avec le bief d'aval ; alors la contre-hausse également pressée sur ses deux faces sera indifférente et la hausse, subissant seule la pression d'amont, la vanne se couchera. A plus forte raison, cette manœuvre se réalisera-t-elle si l'on met en communication la conduite d'aval avec le bief d'amont.

Fermons maintenant la communication de la conduite d'amont avec le bief d'aval et ouvrons celle qui l'unit au bief d'amont ; mettons d'ailleurs la conduite d'aval en contact avec le bief d'aval. L'eau agira sur la face antérieure de la contre-hausse avec plus d'intensité que n'agissent les couches supérieures sur la hausse et celle-ci se redressera à mesure que la contre-hausse s'éloignera d'elle-même de la position horizontale.

Ces manœuvres s'obtiennent au moyen d'aqueducs établis dans la culée et dans la pile en prolongement des conduites formées par les orifices ménagés dans les diaphragmes (pl. XLI). On aurait pu se contenter d'aqueducs établis dans la culée ; mais on se réserve, en les doublant, la possibilité d'activer la manœuvre ; au besoin, ils se suppléeraient.

Les aqueducs sont munis de ventelles commandées par un balancier unique, disposé de façon qu'en ouvrant l'une on ferme nécessairement l'autre *et vice versa*. Ces ventelles sont

COUPE LONGITUDINALE SUIVANT L'AXE DES AQUEUDUCS DE MANŒUVRE



Pl. XXI. CULÉE DU DÉVERSOIR DU BARRAGE DE JOINVILLE-LE-PONT

d'ailleurs conjuguées de telle sorte que lorsque la conduite d'amont est en communication avec le bief d'amont, la conduite d'aval est en communication avec le bief d'aval, et inversement, quand la conduite d'amont est en communication avec le bief d'aval, la conduite d'aval est en communication avec le bief d'amont. C'est cette dernière combinaison qui est figurée dans la planche XLI.

Ainsi la manœuvre du barrage se réduit à lever ou baisser les ventelles, ce qui se fait au moyen d'un seul déplacement du balancier. Elle s'opère de la rive même, sans exiger ni engrenages sujets à se rompre, ni effort musculaire, ni adresse professionnelle, avec une régularité et une célérité qui dépassent de beaucoup les besoins de la pratique.

« Cette manœuvre, dit M. l'inspecteur général Malézieux
 « que nous citons ici textuellement, se réduit presque à un
 « mot d'ordre donné à la rivière, qui s'anime pour ainsi dire
 « et dont le flot intelligent partant de la culée va mystérieu-
 « sement trouver chacune des contre-hausses et la fait tour-
 « ner contre le courant même. On a rarement résolu d'une
 « manière plus directe ce problème philosophique de maîtriser,
 « en les retournant contre elles-mêmes, les forces de la
 « nature. Rarement aussi la valeur pratique d'une heureuse
 « conception se traduit aux yeux d'une manière plus saisiss-
 « sante. Ces 42 hausses de 1 m. 40 de hauteur et de 4 m. 50
 « de largeur s'alignent avec une régularité mathématique ;
 « on dirait une muraille soutenue, à chacun des petits vides
 « séparatifs des hausses, par des contreforts triangulaires. Au
 « signal donné, chaque hausse à son tour s'incline, tourne
 « gravement autour de sa base et se couche en livrant pas-
 « sage à un torrent de 1 m. 50. S'agit-il du relevage ? On voit
 « cette longue et puissante cataracte se fractionner de proche
 « en proche, les hausses se relever doucement sans secousse
 « et refouler avec aisance vers l'amont cette lame épaisse qui
 « se débat en vain. En quelques minutes, la muraille métalli-
 « que est reformée; toute agitation cesse et le déversement
 « primitif reprend son cours paisible ».

Disons, en terminant, que des grilles placées à la tête des aqueducs de manœuvre empêchent l'introduction des corps flottants dans les tambours et que la disposition de ces aqueducs permet d'effectuer des chasses dans les dits tambours pour enlever la vase qui peut s'y déposer.

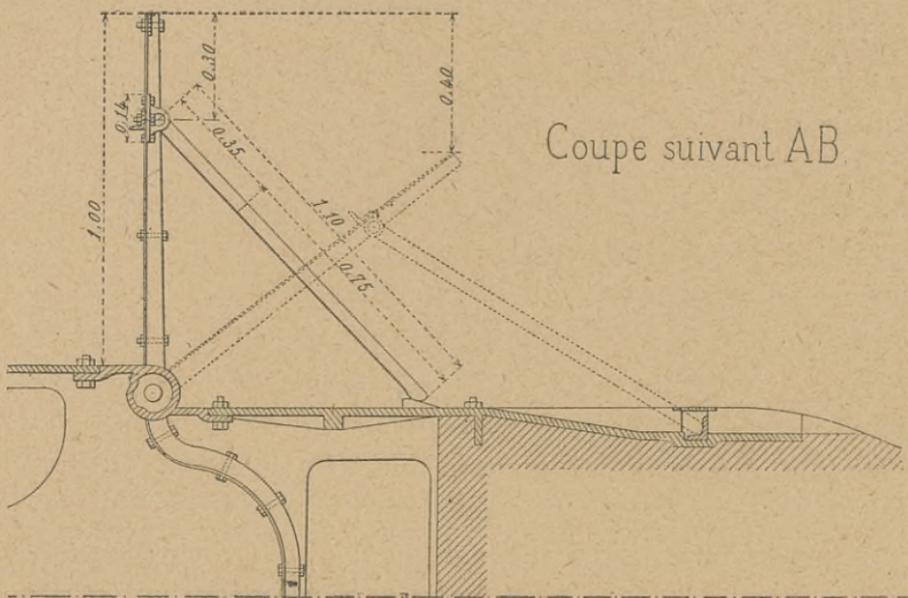
Enfin, au barrage de Joinville, M. Malézieux a eu l'heureuse idée de placer, sur la pierre de taille qui forme le seuil fixe du déversoir, de petites fermettes sur lesquelles on peut appuyer, quand elles sont levées, des madriers recouverts, en tant que de besoin, d'une bâche imperméable. On constitue ainsi un batardeau qui soutient la retenue, et à l'abri duquel on peut démonter les plaques de recouvrement qui ferment les tambours et faire dans ces derniers tous les nettoyages et toutes les réparations nécessaires¹.

110. Béquilles et barre à cochés. — Le barrage de Joinville, auquel s'appliquent plus particulièrement les descriptions qui précèdent, est dépourvu d'un organe de manœuvre qu'il importe cependant de faire connaître.

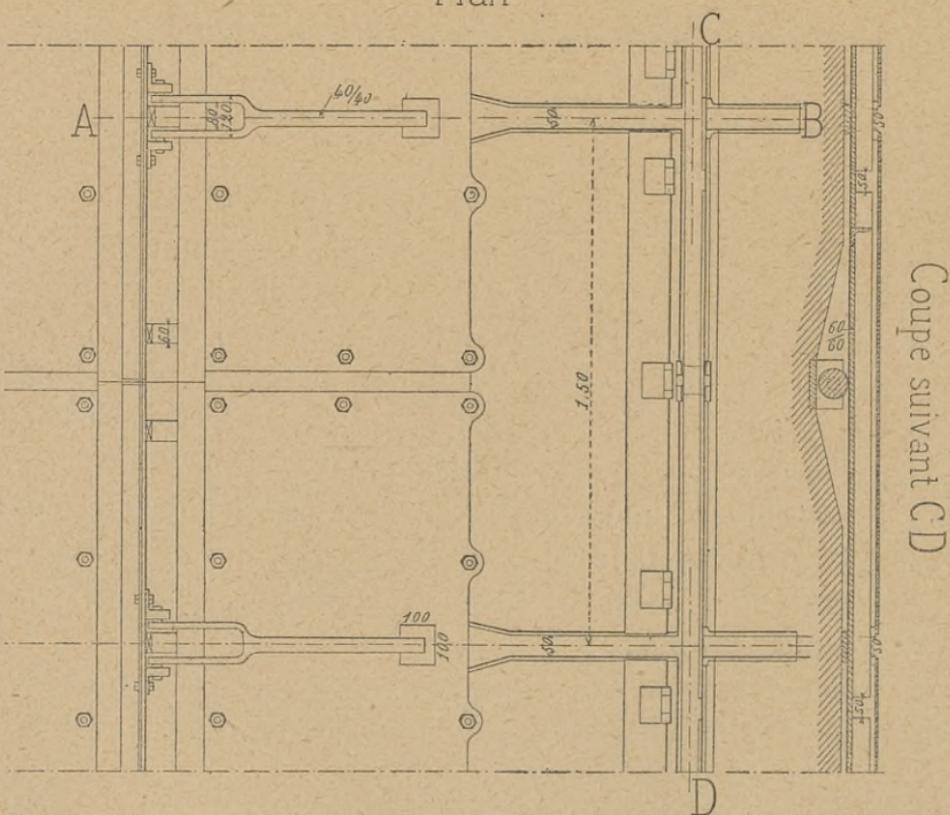
L'expérience a démontré que si l'on manœuvre en sens contraire la ventellerie de la pile et celle de la culée, une moitié à peu près des hausses reste debout, tandis que l'autre moitié s'abat. Et comme la puissance, la portée de l'impulsion donnée de l'une ou de l'autre extrémité du déversoir dépend du volume d'eau introduit, il suffit de restreindre le mouvement d'une des ventelleries pour en limiter l'effet et pour créer entre les deux courants qui s'établissent dans les tambours le rapport d'intensité qui correspond à l'abatage d'un nombre déterminé de hausses. On peut ainsi déplacer comme on veut le point de passage.

Toutefois, il est aisé de concevoir qu'il y a là un état d'équilibre instable et que la moindre variation dans le régime

1. En 1887, ces petites fermettes ont été remplacées par des fermettes plus élevées, susceptibles de supporter une passerelle de service et de fournir un point d'attache aux hausses dans certaines circonstances.



Plan



du cours d'eau doit entraîner ou la chute des hausses qui sont restées debout ou le relèvement de celles qui s'étaient couchées. Pour maintenir l'ouverture partielle il faudrait que le barragiste demeurât constamment la main sur ses mécanismes, réglant l'écoulement de ses aqueducs comme on réglerait un robinet distribuant l'eau d'un réservoir à niveau variable.

M. Desfontaines s'était proposé d'obtenir avec sécurité une demi-ouverture du déversoir, et voici le procédé qui a été appliqué à neuf des barrages de la Marne.

Chaque hausse est armée d'une *béquille* analogue à l'arc-boutant des hausses Chanoine, avec cette différence que son pied se meut dans une glissière simple, dépourvue de toute espèce d'arrêts (pl. XLII). Dans le sens perpendiculaire au mouvement des béquilles, c'est-à-dire suivant le sens du barrage, on a placé, à travers les glissières, une barre dite *barre à coches*, manœuvrée de la rive, par un cric, absolument comme la barre à talons. Cette barre à coches est une simple cornière dont l'aile verticale a été enlevée par places de manière qu'elle peut présenter, au droit de toutes les glissières à la fois, tantôt un vide et tantôt un plein. Dans le premier cas, la hausse, en s'abattant, ne rencontre aucun obstacle et se couche. Dans le second, elle s'arrête en chemin et maintient la retenue au niveau qui correspond à l'arrêt de tout le système.

Avec une seule barre à coches, on peut diviser la retenue en deux parties égales ; la hausse fait alors un angle de 30° avec l'horizontale ; avec deux barres, on la diviserait en trois et l'on obtiendrait ainsi des retenues de hauteur variable en telle quantité qu'on le jugerait utile, si la multiplicité des engins n'était une complication à éviter.

On remarquera toutefois que les barres à coches présentent moins de chances d'accident que les barres à talons. D'abord, dans les applications faites jusqu'ici, elles ont toujours été placées au-dessus de l'étiage, ce qui les rend plus aisément accessibles ; en second lieu, elles ne sont jamais chargées quand on les manœuvre, et même, elles ne peuvent être ma-

nœuvrées qu'à la condition de n'être point chargées. Pour les déplacer suivant les circonstances, il faut toujours commencer par relever le barrage en grand, ce qui les dégage de toute pression.

Or, si on s'attarde dans la position intermédiaire, si on laisse prendre trop d'épaisseur à la lame déversante, le relevage ne s'opère plus. Les hausses sont alors immobilisées ; il faut subir la crue avec une demi-ouverture, c'est-à-dire avec un débouché notablement restreint, ce qui peut avoir des conséquences graves. Quand les hausses sont sur leurs béquilles, il est prudent de s'assurer de temps en temps qu'elles peuvent toujours se relever. Si l'on surprend un peu d'hésitation, il faut faire immédiatement la manœuvre complète ; sinon elle ne tarderait pas à devenir impossible.

La barre à coches offre donc certains inconvénients et n'assure que dans des conditions médiocres l'ouverture partielle du barrage. Il serait, à coup sûr, très intéressant de pouvoir, à volonté, n'abattre qu'un certain nombre de hausses. Une solution très simple du problème a été indiquée par M. l'inspecteur général Maurice Lévy ¹ ; elle consiste à fractionner les conduites d'amont et d'aval en sections correspondant chacune à un certain nombre de vannes, et respectivement mises en communication avec les biefs d'amont et d'aval par des tuyaux indépendants. Grâce à une combinaison fondée sur les propriétés de la série binaire, il suffirait de 5 ou de 6 tuyaux pour actionner un nombre quelconque d'éléments dans un barrage qui en comprendrait 31 ² ou 63 ³. A notre connaissance, cette ingénieuse combinaison n'a pas été réalisée jusqu'ici.

111. Conditions de stabilité de la vanne lorsque la retenue est tendue. — Pour suivre une marche analogue à

1. Mémoire en date du 23 mai 1873.

2. 5 sections comprenant respectivement 1, 2, 4, 8, 16 vannes.

3. 6 sections comprenant respectivement 1, 2, 4, 8, 16, 32 vannes.

celle que nous avons suivie dans l'étude des fermettes et des hausses Chanoine, nous devons maintenant rechercher quelles sont les conditions de stabilité d'une vanne (hausse et contre-hausse ensemble) quand la retenue est tendue. Nous admettons que cette retenue est exactement arasée au niveau du sommet de la hausse, de manière à pouvoir, sans erreur, faire entrer en ligne de compte les pressions statiques dues aux hauteurs d'eau existantes en amont et en aval.

Dans la figure 60 ci-contre, la vanne est représentée schématiquement par la ligne verticale AB ; l'axe de rotation est

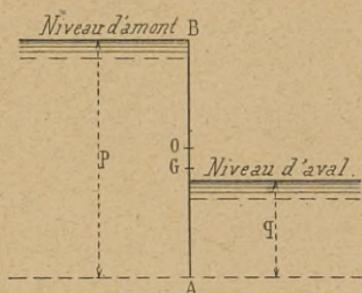


Fig. 60

en O et le centre de pression en G ; p et q sont les hauteurs respectives du niveau de l'eau à l'amont et à l'aval du barrage, au-dessus de l'horizontale passant par l'arête inférieure de la vanne levée.

Désignons par m le rapport de la longueur de la hausse à la longueur totale de la vanne ; la longueur de la hausse OB sera mp , celle de la contre-hausse OA sera $(1 - m)p$.

La résultante des pressions de l'eau sur la vanne, exprimée en tonnes de 1.000 kilogrammes, est, par mètre courant,

$$\frac{p^2 - q^2}{2} ;$$

son moment par rapport au point A est

$$\frac{p^3 - q^3}{6} ;$$

la distance de son point d'application G au même point A

$$AG = \frac{p^3 + pq + q^3}{3(p + q)} ;$$

le moment de stabilité de la vanne par rapport à l'axe de rotation O

$$M_s = \frac{(p - q) [(2 - 3m) (p^2 + pq) - q^2]}{6}.$$

Ce moment s'annule dans le cas où $p = q$, c'est-à-dire quand l'eau est au même niveau à l'amont et à l'aval ; alors, en effet, la résultante des pressions est nulle.

Ce moment s'annule encore si

$$(2 - 3m) (p^2 + pq) - q^2 = 0.$$

Or, cette expression peut s'annuler : 1° si on a simultanément $m = \frac{2}{3}$ et $q = 0$; dans ce cas, en effet, la vanne pressée uniquement sur sa face amont est exactement en équilibre quand le centre de rotation et le centre de pression coïncident ; 2° quand la valeur de q est celle qui résulte de la résolution de l'équation du second degré ci-dessus :

$$q = \frac{p}{2} \left[(2 - 3m) + \sqrt{(2 - 3m) (6 - 3m)} \right].$$

C'est la valeur de q correspondant à la hauteur du bief d'aval qui, pour une valeur donnée de m , fait passer la résultante des pressions par l'axe de rotation même.

M. Desfontaines avait intentionnellement pris $m = 0,50$; si on introduit cette valeur dans l'expression ci-dessus on trouve $q = p$; le moment de stabilité ne s'annule que lorsque le niveau du bief d'aval est le même que celui du bief d'amont, quand la retenue est complètement effacée.

Pour avoir une idée de l'importance de ce moment de stabilité, cherchons la valeur numérique de la force qu'il faudrait appliquer au sommet de la hausse pour le vaincre ; cette

$$\begin{aligned} 1. \quad M_s &= \frac{p^2 - q^2}{2} \times OG = \frac{p^2 - q^2}{2} (OA - AG) \\ &= \frac{p^2 - q^2}{2} \left[(1 - mp) - \frac{p^2 + pq + q^2}{3(p + q)} \right] \\ &= \frac{(p - q) [(2 - 3m) (p^2 + pq) - q^2]}{6} \end{aligned}$$

6

après tous calculs faits.

force est égale au quotient du moment de stabilité par la hauteur de la hausse :

$$F = \frac{(p - q) [(2 - 3m) (p^2 + pq) - q^2]}{6mp}.$$

Dans les barrages que M. Desfontaines a construit sur la Marne, l'arête inférieure des vannes levées est sensiblement au niveau de l'eau d'aval ; on a donc $q = 0$; $p = 2$ mètres en moyenne et, ainsi que nous l'avons déjà dit, $m = 0,50$. Si on introduit ces valeurs dans l'expression de F ci-dessus, on trouve

$$F = 0,667 ;$$

c'est-à-dire qu'en faisant abstraction des frottements, il faudrait, pour faire basculer une vanne, appliquer à son arête supérieure une force de 667 kilogrammes par mètre courant.

Il y a là un excès de stabilité, grâce auquel les niveaux des biefs peuvent être relevés sans inconvénient sérieux. Supposons, par exemple, qu'on les ait relevés de 0 m. 50 et qu'on ait ainsi $p = 2,50$, $q = 0,50$ et $m = 0,60$. On trouve alors, tous calculs faits, $F = 0,277$. Cela revient à dire qu'après le relèvement des niveaux des biefs il faudrait encore, pour faire basculer une vanne, abstraction faite des frottements, exercer sur l'arête supérieure un effort de 278 kilogrammes par mètre courant ou de 417 kilogrammes par vanne. Et si, au lieu d'être exercé sur l'arête supérieure, il était appliqué vers le milieu de la hausse, l'effort nécessaire devrait s'élever à 834 kilogrammes.

Les calculs ci-dessus ne servent pas seulement à faire connaître les conditions de stabilité des vannes quand la retenue est tendue ; ils permettent encore de déterminer l'importance des efforts auxquels les différentes pièces constitutives de ces vannes ont à résister.

112. Conditions dans lesquelles une vanne abattue peut se relever. — Si nous examinons maintenant le cas où une vanné abattue tend à se relever, nous nous trouvons en

présence de phénomènes complexes qui échappent au calcul.

La contre-hausse couchée n'est plus appuyée sur tout son périmètre lorsqu'elle est actionnée par le bief d'amont; elle laisse écouler l'eau, et il en résulte une diminution notable de la pression qui agit sur sa surface. Comme d'ailleurs l'aqueduc d'aménée des eaux est forcément étroit et sinueux pour pouvoir se loger dans les maçonneries, il donne lieu à une nouvelle perte de charge; en somme, *l'effort de relèvement est très loin d'avoir la valeur correspondant à la différence de niveau des biefs.*

D'autre part, la lame déversante animée d'une vitesse plus ou moins grande frappe la hausse lorsqu'elle tend à se relever; elle oppose à son mouvement une résistance variable avec les circonstances de l'écoulement, mais complètement inconnue.

Enfin, il y a les frottements qui ne sont jamais négligeables pour peu que l'ajustage soit précis, et il faut qu'il le soit, pour que les conduites aient une étanchéité suffisante; ces frottements s'accroissent d'ailleurs rapidement si les pièces sont le moins du monde faussées, s'il y a introduction dans les charnières de sable ou de vase, etc.

Toutes ces causes tendent à retarder le relèvement et cela d'autant plus efficacement que la hausse est plus grande par rapport à la contre-hausse. Si donc on veut que ce relèvement puisse s'effectuer de bonne heure, c'est-à-dire quand la chute est encore peu sensible, on est conduit à rendre aussi faible que possible le coefficient m , c'est-à-dire à faire prédominer la longueur de la contre-hausse.

Si on veut avoir une appréciation numérique de l'ensemble de ces forces retardatrices, c'est à l'expérience seulement qu'on peut la demander. Voici, par exemple, ce qu'on lit dans le rapport précité de M. Malézieux: « Le 5 mars 1868, l'eau « étant à 2 m. 14 en amont et à 1 m. 40 en aval, le relevage « exigeait douze minutes... Une autre fois, l'eau étant à 2 m. « en amont et à 1 m. 50 en aval, le relevage ne s'effectua

« qu'en une demi-heure ». Si on considère qu'à l'époque indiquée le barrage de Joinville ne comptait pas encore une année d'existence et présentait par conséquent des conditions de fonctionnement exceptionnellement favorables, on est amené à considérer les circonstances constatées le 5 mars 1868 comme correspondant à la limite pratique de son fonctionnement.

Les hauteurs d'eau ci-dessus mentionnées de 2 m. 14 et 1 m. 40 sont prises au-dessus de l'étiage ; l'arête inférieure des vannes levées étant placée, au barrage de Joinville, à 0 m. 25 au-dessous de l'étiage, ces hauteurs correspondent, pour p et q , aux valeurs respectives de 2 m. 39 et 1 m. 65 ; m est d'ailleurs égal à 0,49.

Dans ces conditions, si la vanne était levée, il faudrait, pour l'abattre, un effort de 252 kilogrammes par mètre courant de vanne, s'il était appliqué à l'arête supérieure, et de 504 kilogrammes s'il s'exerçait vers le milieu de la hausse. Le calcul est facile à faire au moyen de la formule donnée plus haut. On peut donc dire qu'au déclin d'une crue, alors que le niveau de la rivière commençait à se tenir au-dessous du niveau normal de la retenue, la chute étant alors de 0 m. 74, l'ensemble des pertes de force et des résistances passives affectant les organes mobiles, correspondait à peu près à un effort statique de 500 kilogrammes par mètre courant de vannes.

Cette évaluation n'a d'autre but que de donner une idée des résistances à vaincre lorsqu'il devient nécessaire de relever les vannes. Les circonstances rapportées par M. Malézieux sont d'ailleurs en concordance avec ce qui a été observé depuis. On peut admettre, d'une façon générale, que les déversoirs de la Marne ne peuvent se relever d'eux-mêmes que sous une chute de 0 m. 60 à 0 m. 80.

113. Avantages et inconvénients du système. — Son principal avantage est la facilité d'abatage. Moyennant quelques tours de clé, les vannes se couchent, lentement ou rapidement, comme l'on veut. C'est là une faculté précieuse au point

de vue du passage des corps flottants et surtout des glaces. Et même, la manœuvre d'abatage n'aurait pas été faite que, sous une pression énergique, les vannes s'inclineraient sans subir d'avaries. L'expérience du mémorable hiver 1879-1880 a mis en pleine lumière la valeur du système à ce point de vue.

L'étanchéité est presque parfaite. Elle est absolue pour chaque hausse ; et l'ajustage nécessairement très précis des différentes parties du mécanisme permet de ne laisser entre deux hausses voisines qu'un jeu de *dix* millimètres qui pourrait même être encore réduit considérablement.

Enfin toutes les manœuvres, aussi bien pour le relevage que pour l'abatage, se font de la rive, sans aucun danger, sans aucun effort.

Au passif du système Desfontaines, on peut citer la nécessité de l'ajustage extrêmement précis dont nous avons parlé plus haut ; nous avons signalé ailleurs les précautions qu'exige et les ennuis que peut causer la manœuvre des béquilles et de la barre à coches ; mais l'inconvénient le plus grand est assurément la paresse au relevage. Il faut, nous l'avons dit, une chute de 0 m. 60 à 0 m. 80 pour que les déversoirs de la Marne puissent se relever d'eux-mêmes.

Si les parties fixes du barrage devaient réduire la section du cours d'eau au point de produire une pareille chute, au moment où le relevage devient nécessaire, il est à penser qu'elles mettraient à l'écoulement des crues un obstacle inadmissible. Nous ne parlerons que pour mémoire de l'expédient qui consisterait à relever de force, au moyen d'engins mécaniques, un nombre de hausses suffisant pour produire la chute nécessaire au relèvement spontané des autres ; ce serait la négation du système.

En réalité, il semble qu'*il ne peut être employé seul*. Une passe garnie de hausses Desfontaines doit être accompagnée d'une ou de plusieurs passes armées autrement, dont la fermeture préalable produit la chute nécessaire au relevage des hausses.

On pourrait croire que le système ne se prête pas à des modifications dans le niveau des retenues; il n'en est rien. Les retenues de la Marne ayant dû être relevées de 0 m. 50, M. l'inspecteur général Guillemain, alors ingénieur en chef du service, a résolu le problème d'une façon fort ingénieuse; il lui a suffi d'apporter une modification insignifiante aux vannes des déversoirs pour les approprier aux retenues nouvelles.

Sur les deux bras extrêmes de chaque vanne on a boulonné des fers en \perp dépassant l'arête supérieure de 0 m. 50 (fig. 61).

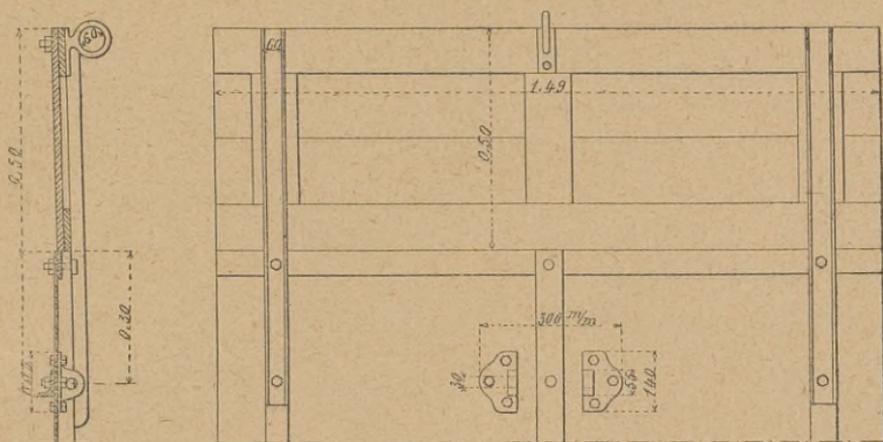


Fig. 61

Grâce à l'appui fourni par ces fers, la hausse relevée peut être surmontée d'une *surhausse*, panneau en planches légères, de 0 m. 50 de hauteur, dont l'arête supérieure correspond au niveau de la retenue nouvelle. Nous avons vu plus haut que dans cette position la vanne présente un excès de stabilité qui permet cette addition sans inconvénients. Quand on fait la manœuvre d'abatage, la surhausse est bientôt emportée par la lame déversante; la hausse une fois couchée a repris sa longueur primitive; rien n'est changé aux conditions de relevage. Les surhaussees ainsi entraînées sont recueillies par un ouvrier monté sur un bateau et s'il s'en perd quelques-unes le dommage est minime. D'ailleurs le plus souvent elles ont été enlevées avant la manœuvre.

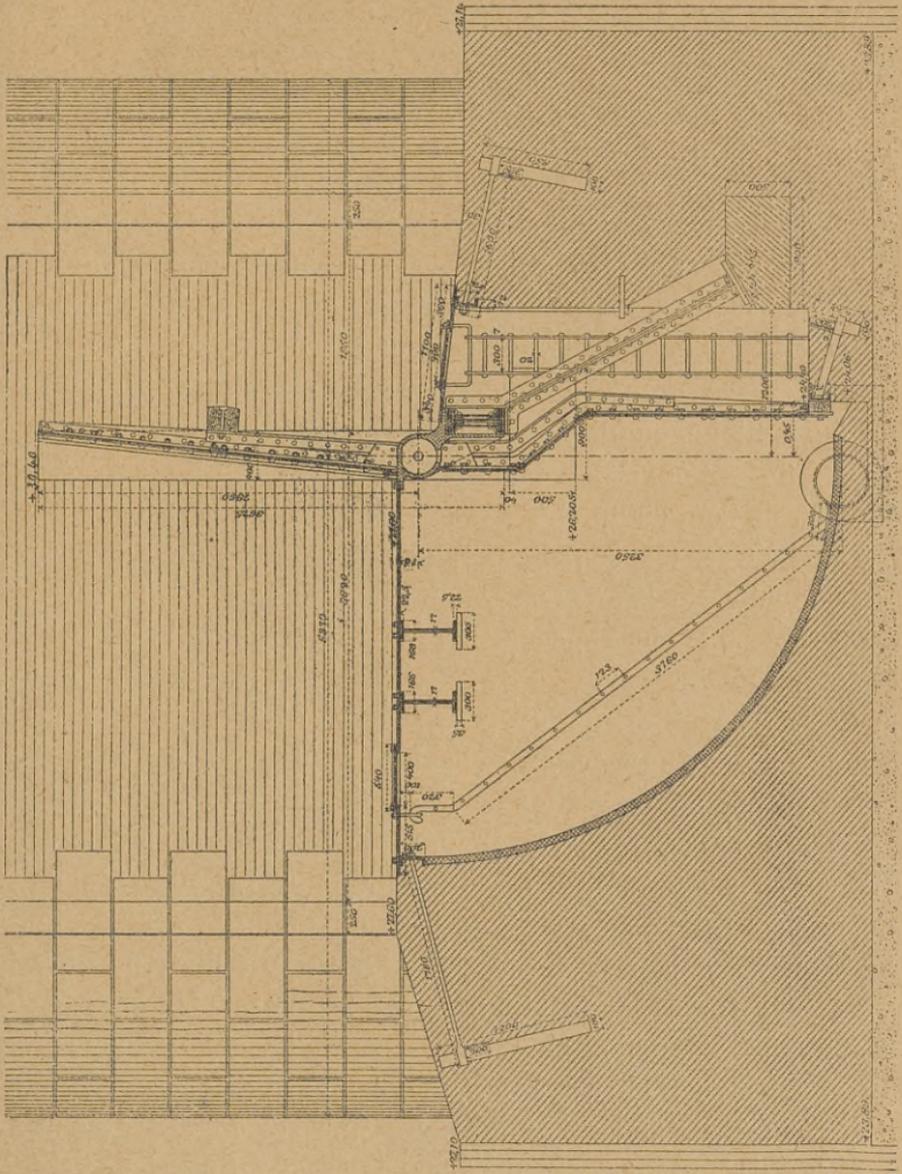
Reste à dire comment on les place sur les hausses relevées.

Sur certains barrages, l'opération est faite par un ouvrier couvert d'un vêtement imperméable, qui circule sur le couronnement de la partie fixe du déversoir, en aval des hausses, et qui travaille sans autre gêne que le choc d'une veine liquide au droit de chaque joint.

Ailleurs, on opère par l'amont, en nacelle, en s'appuyant simplement sur les hausses relevées. La manœuvre devient alors d'une extrême simplicité et le calcul que nous avons donné plus haut prouve qu'elle est sans danger. En basses eaux (et c'est seulement à ce moment que l'on pose les sur-hausses), c'est-à-dire quand il n'y a pas de lame déversante, une nacelle montée par deux hommes ne saurait exercer sur les hausses une pression susceptible de triompher de leur stabilité. Une longue expérience a confirmé sur ce point les résultats du calcul.

En résumé, malgré les inconvénients signalés ci-dessus, le barrage Desfontaines, qui rend les plus grands services sur la Marne, est un appareil commode, de manœuvre facile et sûre. Son plus grand inconvénient, la paresse au relevage, peut d'ailleurs être atténué dans une notable mesure en prenant soin, au moment de la construction : de donner à la contre-hausse une hauteur supérieure à celle de la hausse ; d'exiger un ajustage extrêmement précis de toutes les pièces, de manière à éviter les fuites d'eau ; enfin d'élargir autant que possible les aqueducs qui donnent passage aux eaux du bief d'amont, de façon à réduire les pertes de charge.

114. Extension du système en Allemagne. — Sur la Marne, les barrages Desfontaines ont été appliqués exclusivement à des passes très peu profondes, aux deversoirs dont la retenue normale ne dépasse le couronnement que d'une hauteur comprise entre 1 mètre et 1 m. 20. Est-ce à dire que ce soit là la limite d'application du système ? Dans son rapport sur le barrage de Joinville, M. Malézieux exprimait un



Pl. XLIII. PERTUIS DE FLOTTAGE DU BARRAGE DE CHARLOTTEBOURG. — COUPE TRANSVERSALE

avis tout contraire, et les applications qui ont été faites depuis en Allemagne prouvent qu'il voyait parfaitement juste.

Nous avons déjà parlé (page 25) du barrage de Charlottenbourg construit en 1884, par M. l'ingénieur en chef Mohr, sur la Sprée, immédiatement en aval de Berlin ¹. Indépendamment de 4 travées de 10 m. 50 de largeur chacune, fermées au moyen de vannes levantes, il comprend un pertuis de 10 mètres de largeur destiné au passage des trains de bois, un pertuis de flottage (*Flossrinne*), fermé par une vanne mobile à tambour semblable à celles de M. Desfontaines (pl. XLIII). La hauteur de la retenue sur le seuil du pertuis, comme sur celui des travées munies de vannes, est de 2 m. 80. Le panneau métallique, mobile autour d'un axe horizontal, qui constitue la hausse et la contre-hausse, a 10 mètres de largeur sur 5 m. 60 de hauteur totale.

Nous citerons encore une autre application du même système faite par le même ingénieur, en 1886, aux cinq barrages construits pour la canalisation du Mein, entre Francfort et Mayence. Ces barrages du Mein sont des barrages à fermettes et à aiguilles, imités de ceux de la Meuse Belge, avec échappement Kummer. Entre l'extrémité de chaque barrage et la rive voisine, un pertuis de flottage est établi sur un canal spécial de 300 mètres de longueur et de 12 mètres de largeur. Ce pertuis est fermé par une vanne à tambour, tout à fait analogue à celle du barrage de Charlottenbourg ; seulement la hauteur de la retenue au-dessus du seuil n'est que de 1 m. 70. Le panneau métallique mobile autour d'un axe horizontal qui constitue la hausse et la contre-hausse mesure ici 12 mètres de largeur sur 3 m. 40 de hauteur totale.

Il n'est pas à notre connaissance que ces appareils aient jamais cessé de donner satisfaction ; les conditions dans lesquelles ils ont été établis et fonctionnent donnent d'ailleurs lieu à certaines remarques intéressantes.

1. On peut consulter au sujet de cet ouvrage le mémoire publié par M. Mohr, en 1868, dans la *Zeitschrift für Bauwesen*, sous le titre : *Die Stauanlage in der Spree bei Charlottenbourg*.

Leur construction a exigé des travaux de fondation très importants. A Charlottenbourg, la face supérieure du massif de béton sur lequel est assise la maçonnerie des tambours est arasée à 6 m. 51 en contrebas du niveau de la retenue, soit à 2 m. 31 au-dessous de la face inférieure du radier de l'écluse accolée au barrage.

Les pertuis de flottage sont annexés à des barrages d'un autre système dont la fermeture préalable produit la chute nécessaire pour assurer le fonctionnement des vannes à tambour.

Ces pertuis sont d'ailleurs de nature à rendre de très grands services sur les rivières où le flottage en trains conserve encore de l'importance. Ils procurent aux radeaux un moyen de franchir la chute des barrages beaucoup mieux approprié que les écluses aux convenances du flottage. Ils peuvent aussi, le cas échéant, fournir un moyen infiniment précieux d'évacuer les corps flottants et les glaces. Enfin, lors des crues, ils constituent un ouvrage régulateur d'une puissance exceptionnelle.

Quoi qu'il en soit, il y a là une preuve manifeste que l'invention de M. Desfontaines, peut-être encore insuffisamment connue, est susceptible de se prêter à bien des applications, pourvu qu'on sache en approprier les dispositions aux circonstances.

§ 3

AUTRES BARRAGES MANŒUVRÉS EN UTILISANT LA PUISSANCE DE LA CHUTE

115. Barrage Girard à presses hydrauliques. — Parmi les conceptions diverses tendant à l'utilisation de la chute produite par le barrage même, le système *Girard* à

presses hydrauliques, qui a été appliqué au déversoir du barrage de l'Ile-Brûlée, sur l'Yonne, près d'Auxerre, mérite une mention particulière. La retenue est soutenue par sept grandes vannes de 1 m. 97 de hauteur et de 3 m. 52 de largeur, mobiles autour d'une charnière horizontale placée à leur arête inférieure, dont la disposition rappelle tout à fait celle des hausses des barrages Thénard (pl. XLIV).

Chacune d'elles est commandée par une presse hydraulique dont le piston s'articule avec la vanne vers le milieu de sa hauteur, au moyen d'une triple bielle. L'eau sous pression est fournie aux presses par une petite usine placée sur la rive, dans laquelle une turbine mise en mouvement par la chute fait fonctionner une pompe à eau et une pompe à air ; celle-ci comprime de l'air dans un réservoir en fonte qui sert d'accumulateur de force ¹.

Nous sommes ici en face d'une véritable machine qui fonctionne avec la précision et la régularité des machines bien construites, mais qui nécessairement en a aussi toute la délicatesse.

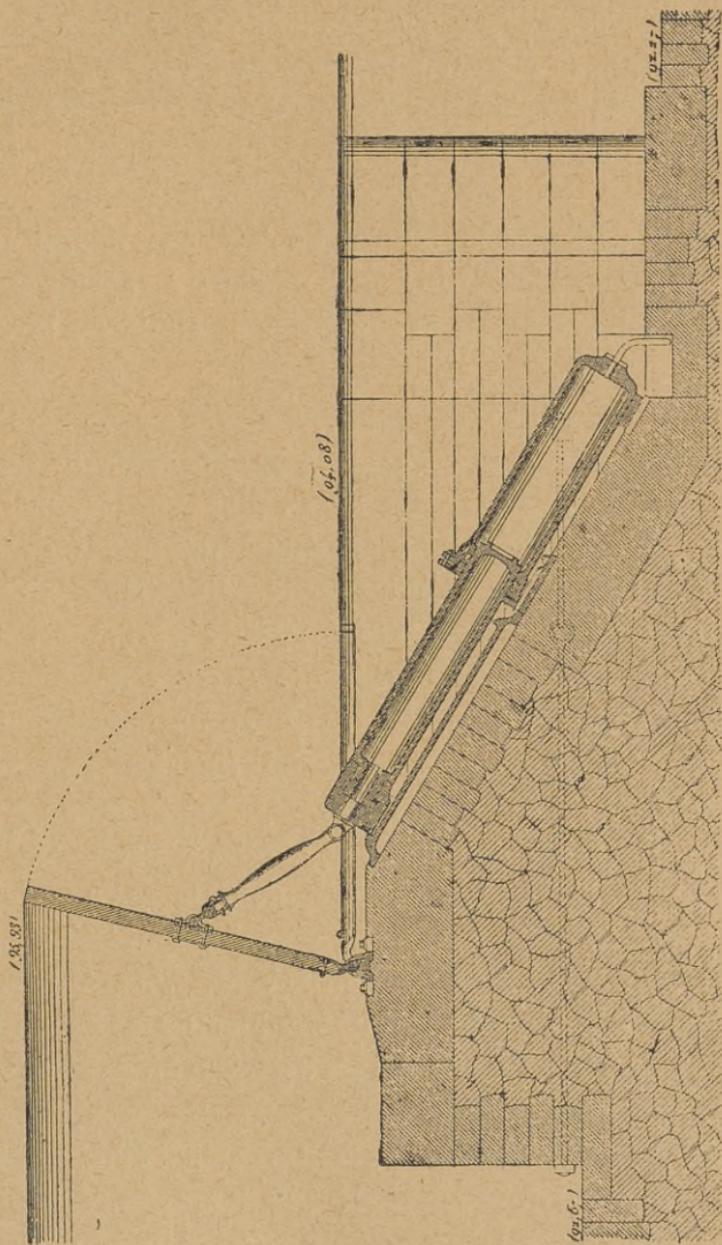
Le danger le plus sérieux réside dans l'action de la gelée. Pour s'y soustraire, on a placé tous les appareils en contrebas de la retenue d'aval, au risque de rendre l'entretien et les réparations plus difficiles.

Toutefois depuis 1873, époque à laquelle ce système a été essayé, il a convenablement fonctionné. La plus grosse objection qu'on puisse y faire, c'est son prix de revient, qui s'est élevé à peu près au triple de celui des autres barrages de même hauteur construits sur l'Yonne, soit dans le système Poirée, soit dans le système Chanoine.

« Malgré sa réussite, dit M. Remise, on ne peut donc considérer l'essai qu'on en a fait à l'Ile-Brûlée que comme une expérience intéressante, mais que vraisemblablement on ne

1. Voir, pour la description complète de cet ouvrage, le mémoire de M. l'ingénieur en chef Remise inséré dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, 1873, 2^e semestre.

COUPE TRANSVERSALE SUR L'AXE D'UNE PRESSE HYDRAULIQUE



Pl. XLIV. BARRAGE GIRARD, SUR L'YONNE, A L'ILE-BRULÉE

« trouvera l'occasion de renouveler que dans des circonstances toutes particulières ».

Il est d'ailleurs à remarquer qu'ici nous sortons un peu des conditions ordinaires de fonctionnement des barrages manœuvrés par la chute elle-même. Sans doute on utilise la puissance de la chute, mais elle n'est pas appliquée directement à la manœuvre. Elle passe par un intermédiaire, l'accumulateur de force. Pour y comprimer de l'air, on pourrait utiliser la chute d'un ruisseau voisin, une machine à vapeur, une machine à pétrole, etc..., aussi bien que la chute de la rivière elle-même.

116. Systèmes divers. — En ce qui concerne d'autres systèmes qui ont été proposés ou au plus essayés, mais non appliqués, je me bornerai à une énumération qui n'a nullement la prétention d'être complète. Rentrent dans cette catégorie :

1° Le barrage à hausses arc-boutées contre des pontons à charnière de M. Krantz, dont on trouve une description détaillée dans le *Cours de Navigation intérieure de M. de Lagrené*, tome III, chapitre XII ;

2° Le barrage à hausses indépendantes des contre-hausses de M. Cuvinot, également décrit dans le même ouvrage, tome III, chapitre X ;

3° Le barrage à hausse articulée de M. Maurice Lévy, qui a fait l'objet d'une brochure autographiée du 28 mai 1873 et dont il est question dans le *Cours de Navigation de M. Guillemain*, tome I, pages 468 et 469.

On pourrait consacrer de longs développements à ces conceptions, et à d'autres encore¹, que leurs auteurs se sont

1. M. Guillemain mentionne encore dans son *Cours*, tome I, p. 467 et suivantes :

Le barrage à sous-pression de M. Caro ;

Le barrage à vannes roulantes du même ingénieur ;

Les hausses pivotantes imaginées par M. le conducteur des Ponts et Chaussées Boidot.

efforcés de suivre dans tous leurs détails, et cette étude ne serait sans doute pas sans intérêt. Elle s'imposerait aux ingénieurs qui seraient tentés d'entrer dans cet ordre de recherches et c'est à leur intention que nous avons cru devoir donner les indications bibliographiques qui précèdent. Mais dans notre Cours, nous avons, avant tout, à nous occuper des ouvrages qui ont reçu la sanction de la pratique; nous nous bornerons donc ici à ces simples indications.

CHAPITRE VI

RÈGLES A SUIVRE POUR L'ÉTABLISSEMENT D'UNE RETENUE D'EAU AU MOYEN D'UN BARRAGE MOBILE

§ 1

DISPOSITIONS ET DIMENSIONS DE LA PARTIE FIXE

117. Conditions principales à remplir. — L'établissement d'une retenue sur un cours d'eau navigable doit satisfaire aux conditions suivantes :

1^o Assurer aux bateaux un mouillage suffisant sans porter préjudice aux propriétés riveraines ;

2^o Fournir en tout temps aux bateaux un moyen facile et sûr de passer d'un bief à l'autre dans l'un et l'autre sens ;

3^o Laisser, en temps de crue, à l'écoulement des eaux, un passage suffisant pour que les conditions dans lesquelles se fait cet écoulement et la situation des propriétés riveraines ne soient pas aggravées ;

4^o Donner les moyens de faire avec le plus de facilité et de sécurité possibles, toutes les manœuvres que peut comporter le règlement de la retenue.

118. Passes profondes. — Aujourd'hui, on doit admettre que le passage des bateaux aux barrages se fait *normalement* par une *écluse à sas*. C'est un moyen commode, sûr, qui maintient les bateaux dans une eau tranquille et ne les expose qu'à

des efforts limités. Cependant, sur nombre de rivières, on considère que lorsque le débit est suffisant pour assurer naturellement à la batellerie le mouillage nécessaire, il convient de rétablir la navigation à courant libre, en l'affranchissant de l'obligation de s'arrêter aux écluses.

On y arrive en plaçant dans le barrage une *passse profonde* appelée également *passse navigable*, ou simplement *passse* et aussi *pertuis*, qui reste ouverte tant que le débit est suffisant.

L'utilité de ces passes profondes au point de vue de la navigation, actuellement et surtout pour l'avenir, est matière à controverses.

Tant qu'on s'est contenté d'un mouillage de 1 m. 20 ou même de 1 m. 60, disent ceux qui contestent cette utilité, il se rencontrait de longues périodes d'eaux ordinaires pendant lesquelles la navigation pouvait se faire à courant libre, et il y avait un intérêt sérieux à l'affranchir du passage aux écluses. A cette époque, le flottage avait encore une grande importance et l'ouverture des passes profondes se prêtait bien au passage des trains de bois. Aujourd'hui, avec des mouillages de 2 mètres, de 2 m. 50, et même de 3 m. 20 comme sur la Basse-Seine, les périodes où l'on peut naviguer librement sont devenues infiniment plus rares et plus courtes. Pendant ces périodes, le courant dans les passes profondes est tellement violent que la navigation y est à peu près impraticable. Enfin, le flottage en trains n'existe plus pour les bois à brûler, et pour les bois de charpente même il diminue considérablement. Ces passes considérées autrefois comme indispensables ont donc perdu leur intérêt.

Ces considérations ont assurément leur valeur ; en fait, sur la Meuse et la Moselle françaises, il n'existe pas de passes profondes et on assure que la batellerie n'en souffre pas. Il est vrai qu'au moment où on les ouvrirait, paraît-il aussi, la navigation se trouve de fait suspendue sur le surplus de la rivière en raison des courants et de la submersion des chemins de halage.

Sur la haute Seine, au contraire, on fait largement usage des passes navigables, même depuis 1884, année où le mouillage de 2 mètres a été définitivement réalisé entre Montereau et Paris. Le tableau suivant donne le nombre total de jours où chacun des trois barrages de Varennes, Melun et Port-à-l'Anglais est resté ouvert pendant les seize années 1885-1900. Il mentionne aussi les nombres de jours où cette ouverture a été motivée par les glaces, les chômages pour travaux et les crues assez fortes pour interrompre la navigation ; il fait donc ressortir la durée totale des périodes pendant lesquelles la navigation s'est effectuée par les passes.

	Nombre de jours d'ouverture			Nombre de jours pendant lesquels la navigation s'est effectuée par les passes	
	Total	pour glaces	pour chômages		pour grandes crues
Barrage de Varennes	1108	154	97	25	832
Barrage de Melun	968	137	81	41	739
Barrage de Port-à-l'Anglais.	755	119	46	4	586

La moyenne annuelle a été de 52 jours pour le premier barrage, de 46 pour le deuxième et de 37 pour le troisième, dépassant ainsi respectivement 7, 6 et 5 semaines.

D'autre part, quand on a troublé violemment le régime naturel d'une rivière, comme on le fait par l'établissement de barrages, il est bon que l'on puisse revenir, temporairement au moins, à ce régime. Cela nous paraît nécessaire au moment des crues, alors que se fait le transport des matériaux plus ou moins mobiles qui forment le lit du cours d'eau. Cela nous paraît utile aussi en très basses eaux, les ouvrages d'art situés dans le remous du barrage et le barrage lui-même pouvant avoir besoin de réparations, pour lesquelles il serait fâcheux de ne pas être à même de faire retour à l'étiage lorsque les circonstances l'exigent. La passe profonde répond à ce double besoin. On place son seuil, autant que possible dans le thalweg et au

niveau des hauts fonds voisins, de manière que ce seuil artificiel ne soit pas plus gênant que les seuils naturels.

Le minimum de largeur à lui donner doit être tel qu'*en étiage* il n'y ait pas de remous sensible ; et on modifie cette dimension en plus, suivant les besoins de la navigation, si ces besoins, combinés avec les circonstances naturelles de l'écoulement, font penser que le pertuis doit être utilisé au passage des bateaux.

Un fait, qui s'est passé dans le service dont nous étions chargé à l'époque, montre que les passes profondes peuvent encore dans certains cas exceptionnels rendre de signalés services. Le 20 novembre 1898 au soir, un des vantaux de la porte d'amont de l'écluse d'Ablon, sur la haute Seine, était complètement brisé par le choc d'un bateau à vapeur ; le fonctionnement de l'écluse était devenu impossible ; malgré toute l'activité déployée, il ne put être rétabli que le 19 décembre suivant, soit après une interruption de 28 jours. C'eut été pour la marine un véritable désastre s'il n'avait été possible de donner, deux fois par semaine, passage aux bateaux accumulés en amont et en aval, en ouvrant la passe profonde du barrage. Grâce à la pente superficielle, notable à cette époque de l'année, du bief d'aval, long de plus de 11 kilomètres, grâce à une légère surélévation du niveau de la retenue du barrage de Port-à-l'Anglais qui commande ce bief, il fut chaque fois possible d'assurer aux bateaux un mouillage suffisant sur le seuil de la passe profonde d'Ablon. Le bief commandé par le barrage d'Ablon a fonctionné comme le sas d'une immense écluse dont la passe profonde du même barrage eut été la porte d'aval. C'est ainsi qu'il a été possible de faire passer 1.573 bateaux pendant l'interruption du fonctionnement de l'écluse et ce chiffre fait ressortir, mieux que tout commentaire, le service qu'a rendu dans l'espèce l'existence d'une passe profonde.

En résumé, nous croyons qu'il y a un sérieux intérêt au maintien de ces passes.

119. Passes moyennes, passes hautes. — Pour que les crues puissent s'écouler, sans aggravation des conditions dans lesquelles se fait cet écoulement et de la situation des propriétés riveraines, il faut que la rivière retrouve un débouché suffisant au moment des eaux abondantes et surtout à l'époque des inondations. Les dimensions de la passe profonde étant déterminées comme nous venons de le dire, il importe que le reste de la section de la rivière ne soit pas obstrué par la partie fixe de la construction dans une mesure susceptible de nuire. Il est évident *a priori* que cette condition serait remplie au mieux, si le barrage mobile pouvait en temps de crue restituer exactement au cours d'eau sa section naturelle ; mais il faut ajouter de suite que la chose est impossible. En effet, la section naturelle d'un cours d'eau présente du thalweg à chaque rive des lignes plus ou moins inclinées, tandis que tous les systèmes de barrages mobiles comportent un seuil, un radier horizontal sur une longueur notable. La section du cours d'eau déterminée par les parties fixes d'un barrage mobile ne peut donc pas être identique à la section naturelle de ce cours d'eau au point considéré ; elle doit seulement être équivalente au point de vue de l'écoulement des crues. En fait, elle se compose de seuils horizontaux étagés à diverses hauteurs, séparés par des cloisons verticales qui sont les piles.

L'étage inférieur est formé par le seuil de la passe profonde placé au niveau des hauts fonds voisins, ainsi que nous l'avons dit plus haut.

Certains barrages comportent un déversoir fixe dont la crête est arasée au niveau de la retenue et qui, par là même, forme l'étage le plus élevé possible.

Entre les deux, formant un ou plusieurs étages intermédiaires, se trouvent les seuils des passes dites *passes moyennes* ou *surelevées* et *passes hautes* ou *passes déversoirs*, selon que ces seuils ont été placés à un niveau plus ou moins distant de celui de la retenue, d'après la triple considération de l'écoulement à donner aux eaux, de l'économie dans la construction

et de la facilité de manœuvre. Il est évident en effet que, toutes choses égales d'ailleurs, plus une passe est profonde, plus son établissement est coûteux, moins les organes qui la forment sont maniables.

120. Données statistiques et numériques. — Ainsi, un barrage pourrait comporter une passe profonde, une ou plusieurs passes moyennes, une passe haute et un déversoir fixe ; mais il est rare qu'un même ouvrage comporte des étages aussi multipliés.

Le barrage de Poses présente bien sept passes, mais au point de vue de la situation du seuil il comprend seulement des passes profondes, navigables ou non, et des passes hautes ou passes déversoirs.

Au barrage de Suresnes, on trouve une passe profonde (passe navigable), une passe surelevée et une passe déversoir.

Le barrage de Port-à-Anglais, sur la Haute-Seine, comporte en dehors de la passe déversoir et de la passe navigable une passe plus profonde que cette dernière, dite *pertuis*.

Sur la Meuse et sur la Moselle françaises, au contraire, les barrages ne comportent qu'une passe moyenne et un déversoir fixe.

La combinaison la plus fréquente, celle que l'on rencontre presque exclusivement sur la Haute-Seine et l'Yonne ainsi que sur la Marne, comprend une passe profonde (passe navigable) et une passe haute (passe déversoir) accolées.

Sur l'Yonne, les passes navigables ont leur seuil à 0 m. 50 ou 0 m. 60 au-dessous de l'étiage et leur largeur varie de 30 mètres à 35 m. 15 ; les passes déversoirs ont leur seuil uniformément à 1 m. 10 au-dessus de celui de la passe navigable, soit à 0 m. 60 ou 0 m. 50 au-dessus de l'étiage ; leur largeur varie de 25 à 63 mètres.

Sur la Haute-Seine, les passes navigables ont uniformément leur seuil à 0 m. 48 au-dessous de l'étiage avec des largeurs

variant de 40 m. 40 à 54 m. 70 et même 65 m. 10 ; les passes déversoirs ont en moyenne leur seuil à 1 mètre au-dessus de celui de la passe navigable, soit à 0 m. 52 au-dessus de l'étiage ; leur largeur varie de 60 m. 30 à 70 m. 10.

Sur la Marne, les passes profondes (appelées aussi pertuis) ont leur seuil, comme sur la Seine, à 0 m. 48 au-dessous de l'étiage ; leur largeur est de 25 mètres pour les barrages qui se trouvent sur la voie navigable même. Les passes déversoirs ont, en moyenne, leur seuil à 1 m. 75 au-dessus de celui du pertuis, soit à 1 m. 27 au-dessus de l'étiage ; leur largeur varie de 45 à 63 mètres.

§ 2

CHOIX DES ORGANES MOBILES

121. Aperçu des prix de revient de divers barrages.

— Un premier élément d'appréciation pour faire un choix entre les différents systèmes est la considération de la dépense. On trouvera dans le tableau ci-après, pour un certain nombre de barrages : 1^o la désignation des passes considérées ; 2^o la longueur de chacune d'elles ; 3^o la hauteur de la retenue au-dessus du seuil ; 4^o la chute du barrage ; 5^o le prix par mètre courant, parties fixes et parties mobiles ensemble. Il y a, en effet, entre les dispositions de ces dernières et celles des maçonneries une corrélation telle qu'il semble préférable de ne pas les séparer les unes des autres, en admettant que la chose fut possible.

Dans la colonne « Observations » nous avons indiqué, indépendamment de la date de construction de chaque ouvrage et de certaines autres circonstances utiles à signaler, les sources auxquelles ont été empruntés les chiffres consignés au tableau.

DÉSIGNATION des barrages et des passes	Longueur des passes	Hauteur de la retenue au-dessus du seuil
BARRAGES A FERMETTES		
Barrage de l'Uf sur la Meuse française :		
3 passes moyennes	26.20 27.30 26.20	2.00
5 barrages de la Grande-Saône (moyenne) :		
Passes haute (déversoir)	116.82	2.50
6 barrages de la Meuse belge (moyenne) :		
Passes profonde (passe navigable)	43.44	3.10
Barrage de Martot sur la Basse-Seine :		
3 passes semblables	51.60	3 »
Barrage de Suresnes sur la Basse-Seine :		
Passes navigable	72.38	4.56
Passes déversoir	62.38	3.08
Passes surélevée	62.38	4.08
Barrage du Moulin-Rouge sur le Loing :		
Passes non navigable	49.50	1.80
BARRAGES A PONT SUPÉRIEUR		
Barrage de Poses, sur la Basse-Seine :		
1 passe navigable	30.24	5 »
1 passe navigable	32.48	
2 passes déversoirs	30.16	3 »
2 passes non navigables	30.16	5 »
1 passe non navigable	27.92	

OBSERVATIONS

Barrage avec aiguilles. Le prix de 1740 fr. par mètre courant peut être considéré comme le prix de revient moyen des 21 barrages construits sur la Meuse ardennaise de 1875 à 1877. Le mouillage réalisé est au minimum de 2 mètres (*Renseignements fournis par le service*).

Barrages avec aiguilles, construits de 1866 à 1871 et de 1873 à 1879 en vue d'obtenir un mouillage de 2 mètres au minimum (*Renseignements fournis par le service*).

Barrages avec aiguilles, construits de 1874 à 1880 en vue d'obtenir un mouillage de 2 m. 10 au minimum (*Mémoire sur les travaux de canalisation de la Meuse entre Namur et la frontière française*, par M. Martial Hans).

Barrage avec aiguilles, construit de 1863 à 1866 en vue d'un mouillage de 2 mètres et maintenu sans changement avec celui de 3 m. 20 (*Collection de dessins distribués aux élèves de l'Ecole des Ponts et Chaussées*, t. II, page 168).

Barrage avec rideaux Caméré et vannes Boulé, construit de 1880 à 1885 en vue du mouillage de 3 m. 20. Le prix moyen pour l'ensemble des trois passes serait de 10.375 fr.; mais ce prix a été contesté, comme il est expliqué à la page 156 du présent volume (*Collection de dessins distribués aux élèves de l'Ecole des Ponts et Chaussées*, t. III, page 704).

Barrage avec vannettes à galets roulant sur billes, construit en 1900 pour l'alimentation du canal du Loing. L'élévation du prix est due à ce qu'il comprend la démolition d'un ancien barrage de moulin et des dragages en amont de l'ouvrage nouveau (*Renseignements fournis par le service*).

Barrage avec rideaux Caméré, construit de 1878 à 1885 en vue du mouillage de 3 m. 20. Le prix de 16.536 fr. s'applique à l'ensemble des sept passes; il a été contesté, comme il est expliqué à la page 156 du présent volume (*Collection de dessins distribués aux élèves de l'Ecole des Ponts et Chaussées*, t. III, page 495).

DÉSIGNATION des barrages et des passes	Longueur des passes	Hauteur de la retenue au-dessus du seuil
BARRAGES A HAUSSES		
12 barrages de la Haute-Seine (moyenne) :		
Passe profonde (passe navigable).....	50 »	3.01
Passe haute (déversoir).....	65 »	4.90
6 barrages de la Meuse belge (moyenne) :		
Passe haute (déversoir).....	54.60	2.25
5 barrages de la Grande-Saône (moyenne) :		
Passe profonde (passe navigable).....	49.21	3.50
Barrage de la Mulatière sur la Saône :		
Passe profonde (passe navigable).....	103.60	4 »
BARRAGES A TAMBOUR		
8 barrages de la Marne (moyenne) :		
Passe haute (déversoir).....	59 »	1 »
BARRAGE GIRARD		
Barrage de l'Île-Brûlée sur l'Yonne :		
Passe haute (déversoir).....	25 »	2 »

OBSERVATIONS

Barrages construits de 1860 à 1869 en vue du mouillage de 4 m. 60. Le prix du mètre courant de passe haute ne comprend pas la passerelle de service ajoutée postérieurement en amont des hausses. Il y aurait, de ce chef, une majoration de 286 fr. par mètre courant (*Cours de navigation intérieure* de M. H. de Lagrené, tome III, pages 273 et suivantes).

Barrages construits de 1874 à 1880 en vue d'obtenir un mouillage de 2 m. 10 au minimum. Une passerelle de service sur fermettes est établie en amont des hausses (*Memoire sur les travaux de canalisations de la Meuse entre Namur et la frontière française*, par M. Martial Hans).

Barrages construits de 1866 à 1871 et de 1873 à 1879 en vue d'obtenir un mouillage de 2 mètres au minimum. Une passerelle de service sur fermettes mobiles est établie en amont des hausses (*Renseignements fournis par le service*).

Barrage du système Pasqueau construit de 1879 à 1882. Le système comporte l'établissement d'une passerelle de manœuvre sur fermettes, en amont des hausses. Le prix de 9.668 fr. s'applique à l'ensemble de la passe profonde et du déversoir long de 84 mètres (*Renseignements fournis par le service*).

Barrages construits de 1860 à 1865 en vue du mouillage de 4 m. 60. Ce prix ne comprend pas les béquilles et les barres à coches, dont tous les déversoirs ne sont pas munis. Il y aurait de ce chef une majoration de 75 fr. par mètre courant (*Collection de dessins distribués aux élèves de l'Ecole des Ponts et Chaussées*, tome II, page 177).

Barrage construit près d'Auxerre en vue du mouillage de 4 m. 60, terminé en 1873. (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1873, 2^e semestre, page 360, notice de M. Remise).

Est-il besoin de dire que ces chiffres, pour intéressants qu'ils soient, ne peuvent fournir les éléments d'une comparaison bien rigoureuse.

Tout d'abord, les prix unitaires des maçonneries, des charpentes, des ferronneries varient considérablement avec les pays et avec les époques et, en second lieu, la question des fondations intervient souvent dans une proportion qui bouleverse tous les rapports. Enfin, il est une considération qui n'a pas laissé de rendre fort délicat le choix des exemples à citer. La plupart des ouvrages qui existent aujourd'hui ont subi plusieurs modifications successives. Si, à la dépense de premier établissement, on ajoutait celle de ces diverses modifications, on arriverait à un prix de revient très supérieur à celui qui aurait été réalisé si l'ouvrage avait été de prime abord établi dans ses conditions actuelles. C'est pour cela que nombre de barrages figurent au tableau tels qu'ils ont été construits d'abord et non tels qu'ils se comportent aujourd'hui.

122. Avantages respectifs des différents systèmes. —

Simple, robuste et même rustique en toutes ses parties, le *barrage à fermettes* est incontestablement le plus économique, surtout quand on peut employer les aiguilles qui reportent la plus grande partie de la pression de l'eau sur les maçonneries du radier. Or, avec le crochet de M. Guillemain, les aiguilles peuvent prendre des dimensions importantes, sans cesser d'être facilement manœuvrables à la main, tout en devenant beaucoup plus étanches. Le barrage Poirée avec aiguilles à crochet constitue donc une solution tout particulièrement recommandable.

Avec des vannes ou des rideaux articulés, on ne voit pas bien ce qui pourrait limiter la hauteur des fermettes, sauf peut-être la difficulté d'ancrer d'une façon suffisamment solide les crapaudines d'amont. Le barrage de Suresnes rachète une chute de 3 m. 27 et comporte des fermettes de

5 m. 91 de hauteur ; il commande la navigation fluviale la plus importante de France et permet de régler le niveau des eaux dans Paris avec une précision rigoureuse. La manœuvre devient, il est vrai, moins facile, exige des engins spéciaux plus ou moins compliqués, mais, par contre, le bief peut se régler par déversement, ce qui est fort à considérer. Enfin le barrage à fermettes jouit, à un haut degré, de la propriété bien précieuse de pouvoir se prêter très aisément à des modifications dans le niveau des retenues.

A l'autre extrémité de l'échelle des prix, le *barrage à pont supérieur* possède la propriété caractéristique de ne rien laisser des organes mobiles au fond de l'eau lors de l'ouverture, en même temps qu'il donne toutes facilités de manœuvre et toutes garanties de bon fonctionnement ; mais ces avantages seraient, dans la plupart des cas, trop chèrement achetés. Ce système ne nous paraît pouvoir se justifier que par des circonstances tout à fait exceptionnelles, en dehors des deux cas suivants :

1° Quand la rivière à canaliser charrie des quantités de matériaux considérables, et notamment des galets assez volumineux pour détériorer les organes mobiles qui resteraient au fond de l'eau en temps de crue. C'est cette dernière considération, il ne faut pas l'oublier, qui avait suggéré à M. Tavernier l'idée première du barrage à pont supérieur ;

2° Quand le pont supérieur existe déjà ou doit être construit pour satisfaire à d'autres besoins et, par suite, ne grève pour ainsi dire pas le prix de construction du barrage.

Le *barrage à hausses* a pour lui la rapidité d'ouverture et, à la condition de n'être pas doublé d'une passerelle de manœuvre établie sur fermettes, il se prête merveilleusement au passage des corps flottants et des glaces. Certains ingénieurs se sont demandé s'il ne serait pas possible de concilier ce dernier et si précieux avantage avec la facilité de manœuvre que procure une passerelle de service et, à cet effet, ils ont proposé de remplacer la passerelle mobile sur fermettes par une

passerelle fixe à grande portée établie sur les piles mêmes du barrage. Au droit des passes hautes et même des passes moyennes, qui n'ont aucune navigation à desservir, il suffirait de placer cette passerelle un peu au-dessus du niveau des plus hautes eaux. Il n'est pas à notre connaissance que cette solution ait encore reçu la sanction de l'expérience. La construction de la passerelle fixe ne laisserait pas d'être coûteuse. La présence, nécessaire, de nombreuses chaînes reliant les hausses à la passerelle pourrait bien aussi être une source de difficultés très sérieuses dans la pratique.

Enfin le *barrage à tambour* se recommande par l'incomparable facilité des manœuvres aussi bien au relevage qu'à l'abatage ; il permet au bief de se régler par déversement et il se prête bien, alors même qu'il ne serait pas manœuvré à temps, au passage des corps flottants et des glaces. Ce sont assurément là des avantages de premier ordre, mais ils ne peuvent être obtenus qu'au prix de dépenses importantes, alors même qu'il s'agit seulement de soutenir une hauteur d'eau de 1 mètre à 1 m. 20, comme sur la Marne.

123. Conclusions. — Si l'on considère l'ensemble des parties constitutives d'une retenue d'eau, on constate que les choix faits pour les organes mobiles réagissent les uns sur les autres. En d'autres termes, il ne faut pas envisager une retenue comme formée de passes indépendantes, mais s'attacher à corriger avec l'aide de l'une ce qui peut être défectueux dans l'autre, de façon à faire un tout aussi satisfaisant que possible.

Dans certains cas, les ouvrages de retenue comprennent un déversoir fixe ; par exemple quand le barrage doit être établi dans une section très large de la rivière ou au milieu d'îlots entre lesquels les bras secondaires peuvent, au moment des crues, offrir un grand développement de nappe déversante pour aider au débit de l'ouvrage principal. Cette solution est également applicable quand on peut utiliser un ancien bar-

rage usinier qu'on approprie, en tout ou en partie, à la création d'une retenue de navigation.

Néanmoins, les combinaisons le plus généralement adoptées aujourd'hui ne comportent pas de déversoir fixe, mais seulement une passe haute qui en tient lieu et qui en porte le nom.

Dans ces combinaisons, un premier point nous paraît essentiel, c'est qu'une passe au moins permette le règlement du bief supérieur par déversement. Non seulement on évite ainsi d'être surpris par une crue imprévue, mais encore et surtout on peut laisser écouler nombre de crues insignifiantes sans faire aucune manœuvre, avantage sur l'importance duquel nous avons déjà insisté. Ce résultat peut être obtenu, soit avec des hausses Desfontaines (passe hautes de la Marne), soit avec des hausses Chanoine en plaçant le centre de rotation suffisamment haut (passe profondes de la Haute-Seine et de l'Yonne), soit avec des fermettes en adoptant, pour la bouchure, des vannes ou des rideaux articulés surmontés d'une vannette.

Un second point également très important dans les climats où les glaces sont à redouter, c'est d'avoir une passe qui s'abatte vers l'aval facilement, rapidement et au besoin spontanément. C'est ce qu'on a réalisé sur la Marne avec des passes hautes munies de hausses Desfontaines. On a fait mieux sur le Mein avec les pertuis de flottage dont les grandes hausses à tambour ont leur seuil au même niveau que le reste du barrage. On a fait mieux encore sur la Haute-Seine et sur l'Yonne avec des passes profondes munies de hausses Chanoine.

Au point de vue des glaces, les barrages de la Haute-Seine nous paraissent aussi bien combinés que possible. Ils comportent, ainsi que nous l'avons dit, une passe profonde dont le seuil est à 0 m. 48 environ au-dessous de l'étiage et une passe haute dont le seuil est à 0 m. 52 au-dessus, la première fermée au moyen de hausses Chanoine sans passerelle de sér-

vice, la seconde fermée au moyen de fermettes et d'aiguilles à crochet ; viennent les glaces, on ouvre la passe profonde en se gardant bien de toucher à la bouchure de la passe haute. Les glaçons sont entraînés par le courant dans la première où ils passent sans causer de dommages ; ceux qui peuvent s'accumuler devant la bouchure de la seconde sont sans inconvénients et constituent, pour ainsi dire, une protection. Lorsque le bief supérieur est vidé, le seuil de la passe haute émerge généralement (c'est le plus souvent par des eaux basses que les rivières se congèlent) ; les agents et les ouvriers peuvent alors descendre sur ce seuil et exécuter tous les travaux nécessaires pour dégager les organes mobiles de la passe haute, que l'on enlève ou que l'on couche dans le logement que leur offre le radier. Tout est bientôt prêt pour que la débâcle ou la crue qui peuvent survenir passent sans encombre.

Là où il n'y aurait pas de glaces à craindre, on aurait un très bon barrage, très économique, en le composant d'une passe profonde Poirée avec aiguilles à crochet et d'une passe haute également du système Poirée, avec des vannettes à galets.

En résumé, il importe d'être éclectique, en tenant compte non seulement des mérites absolus des différents systèmes, mais encore de la valeur et des habitudes du personnel chargé de la manœuvre. Les choix doivent être faits avec des vues d'ensemble et de manière à toujours corriger les inconvénients du système adopté pour une passe par les avantages des types appliqués aux autres.

Ici se termine ce que nous avons à dire sur la canalisation des rivières, telle qu'elle est aujourd'hui obtenue, par voie de relèvement du plan d'eau dans les biefs successifs. Dans notre ouvrage intitulé *Rivières à courant libre*, nous avons dit un mot (page 329) d'un autre mode de canalisation conçu en vue des rivières à fond mobile, qui consisterait à obtenir au

moyen de travaux de resserrement, la réduction de la pente moyenne et l'augmentation du mouillage dans les biefs successifs séparés par des barrages de soutènement du lit. Pas plus aujourd'hui qu'alors, il n'est à notre connaissance que cette ingénieuse conception ait été réalisée ; mais M. l'inspecteur général Lechallas, qui s'est particulièrement occupé de la question, a bien voulu nous donner sur ce mode de canalisation des rivières une note que l'on trouvera à la fin du volume (Annexe A). Nous pensons qu'elle sera lue avec un vif intérêt.

CHAPITRE VII

ÉCLUSES A SAS

§ 1

DISPOSITIONS GÉNÉRALES

124. Enumération et dénomination des différentes parties d'une écluse. — L'écluse à sas, nous l'avons déjà fait remarquer, est aujourd'hui le complément obligé du barrage dans les travaux de canalisation des rivières ; mais elle constitue aussi l'élément primordial des voies navigables entièrement artificielles, des canaux. L'étude à laquelle nous allons procéder ici sera faite d'une façon complète, de manière à n'avoir, autant que possible, pas à revenir sur ce sujet.

Une écluse à sas se compose essentiellement d'un bassin ou *sas*, établi à la jonction de deux biefs de niveaux différents, et de deux pertuis ou *têtes*, qui permettent d'établir ou d'interrompre la communication entre le sas et l'un ou l'autre bief. Lorsque l'eau est au même niveau dans le sas et dans un des biefs, un bateau peut passer de ce bief dans le sas. Il suffira alors d'élever ou d'abaisser l'eau du sas jusqu'au niveau de l'autre bief, pour que la communication puisse être établie avec ce dernier et que le bateau puisse y pénétrer. Un simple écoulement d'eau aura permis de faire franchir au bateau,

dans un sens ou dans l'autre, la différence de niveau des deux biefs, la *chute* qui les sépare.

Le plus souvent le sas est compris entre les deux têtes et ces trois portions de l'ouvrage ont le même axe longitudinal. La tête qui donne accès au bief d'amont s'appelle *tête d'amont*, celle qui donne accès au bief d'aval, *tête d'aval*.

La capacité du sas peut être limitée à ce qui est nécessaire pour contenir un seul bateau ; dans ce cas, les murs latéraux, les *bajoyers* du sas sont généralement dans le prolongement de ceux des têtes. Dans d'autres cas, le sas est disposé de façon à recevoir plusieurs bateaux à la fois ; les têtes d'amont et d'aval peuvent alors être placées d'une manière indépendante l'une de l'autre.

Chaque tête est fermée au moyen d'une *porte* comprenant : soit un vantail unique mobile autour d'un axe vertical ou horizontal ; soit, le plus généralement jusqu'ici, deux vantaux mobiles, chacun, autour d'un axe vertical. Dans ce dernier cas, lorsque la porte est fermée, les vantaux butent l'un contre l'autre, de manière que l'arête suivant laquelle ils se rencontrent fasse vers l'amont une saillie qui peut varier du sixième au cinquième de la largeur du passage. Le montant vertical autour duquel tourne chaque vantail porte le nom de *poteau-tourillon* ; il est logé dans un refouillement du bajoyer, et ce refouillement se prolonge vers l'amont, de façon que le vantail entier puisse y trouver place au moment où l'on veut livrer passage aux bateaux.

Le refouillement en question, dans son ensemble, se nomme *l'enclave* ; la partie sur laquelle s'appuie le poteau-tourillon lorsque le vantail est fermé prend le nom de *chardonnet*. La pierre inférieure du chardonnet, qui fait aussi partie du radier et reçoit le *pivot* sur lequel tourne le poteau-tourillon, est dénommée *pierre de crapaudine* ou *bourdonnière*.

Pour que les vantaux puissent tourner facilement, il est indispensable qu'ils ne frottent pas du bas, qu'ils ne portent pas sur le radier, et cependant il est également indispensable que

l'eau ne s'échappe pas par-dessous. On satisfait à cette double condition en ménageant dans le radier une saillie, contre laquelle les vantaux viennent s'appuyer du bas précisément au moment où ils butent l'un contre l'autre sur toute leur hauteur. Cette saillie porte le nom de *busc*; les montants verticaux, suivant lesquels les vantaux butent l'un contre l'autre en même temps qu'ils s'appuient sur le busc, s'appellent *poteaux busqués*, et les portes de ce système, le plus généralement employé jusqu'ici, comme on l'a dit plus haut, s'appellent des *portes busquées*.

La partie de chaque tête comprise, d'une part entre les deux enclaves, d'autre part entre le busc et le plan vertical passant par l'extrémité amont des enclaves, se nomme la *chambre de la porte*¹.

Les buscs sont généralement construits en pierres de taille assemblées comme les claveaux d'une voûte. A la tête d'amont, la douelle de ces claveaux forme d'habitude sur le radier du sas une saillie en forme de cylindre vertical concave que l'on nomme *mur de chute*.

125. Dimensions horizontales des écluses. — La *largeur* d'une écluse est la distance minima des deux bajoyers; c'est d'ordinaire l'ouverture aux têtes. Elle doit être suffisante pour que les plus grands bateaux en usage sur la voie navigable puissent passer aisément.

En ce qui concerne la longueur, il faut distinguer entre la longueur totale de l'ouvrage et celle qui peut être utilisée pour le logement des bateaux. La *longueur utile* d'une écluse est

1. Nous n'ignorons pas que l'expression consacrée est *chambre des portes*, de même que dans beaucoup d'auteurs on parle des *portes d'amont* et des *portes d'aval* ou encore des *deux paires de portes d'une écluse*. Ce sont, cependant, des locutions vicieuses. En général, il n'y a qu'une porte d'amont et une porte d'aval; chaque écluse n'a que deux portes; seulement, quand il s'agit de portes busquées, chaque porte se compose d'une *paire de vantaux*.

la distance comprise entre la corde du mur de chute et l'origine amont des enclaves de la porte d'aval.

Naguère encore les dimensions horizontales des écluses variaient à l'infini, non seulement d'une voie navigable à l'autre, mais encore sur une même voie. Il n'est pas besoin d'insister sur les conséquences funestes de cette variété. Elle obligeait à adopter, pour les bateaux, des dimensions en rapport avec celles de la plus petite écluse rencontrée sur le parcours projeté.

126. Type légal en France. — Chez nous, la loi du 5 août 1879 a heureusement mis fin à cet état de choses. L'article 2 de cette loi est ainsi conçu :

« Les lignes principales doivent avoir *au minimum* les dimensions suivantes :

« Profondeur d'eau	2m. »
« Largeur des écluses	5, 20
« Longueur des écluses, entre la corde du mur de chute « et les enclaves de la porte d'aval	38, 50
« Hauteur libre sous les ponts (pour les canaux)	3, 70

« Il ne peut être dérogé à cette règle que par mesure législative. »

Tel est le texte de la loi. Toutefois il ne fixe que des *minima*. Il ne s'oppose pas, notamment, à ce que l'on conserve sur certaines rivières les dimensions nécessaires au passage des bateaux de grandes dimensions qui les fréquentent, ainsi que des convois.

Mais la loi de 1879 a établi dans les canaux une uniformité de dimensions qui permet maintenant au même bateau de se rendre, sans rompre charge, d'une extrémité à l'autre du réseau des voies principales.

Depuis lors, les écluses existantes sur les lignes principales ont été successivement mises au gabarit légal. Cette opération, que l'on peut considérer comme entièrement réalisée aujourd'hui, constitue certainement l'amélioration la plus importante qui ait été apportée depuis longtemps, en France, au réseau des voies navigables.

127. Dimensions correspondantes des bateaux. —

Les bateaux qui utilisent ces écluses devraient avoir, au plus, la longueur de 38 m. 50. Il arrive cependant quelquefois qu'ils la dépassent un peu, sauf à retirer ou à replier leur gouvernail, en profitant de la flèche du mur de chute ou de l'absence dudit mur, ainsi que du petit jeu forcément ménagé entre les extrémités des vantaux et l'origine de la chambre de la porte d'aval.

Leur largeur ne doit pas être supérieure à 5 mètres, afin de laisser un jeu minimum de 0 m. 20 ; mais il s'en faut que ce jeu soit toujours ménagé. Il arrive, en effet, que les bateaux se gauchissent, s'ouvrent à leur partie supérieure, tout en restant à la dimension voulue dans leur sole. — Quelquefois le parallépipède circonscrit ne pourrait plus trouver place entre les bajoyers ; souvent, sans aller jusque-là il en résulte des frottements, des avaries et des retards. Il y a donc lieu de tenir très strictement la main à ce que cette dimension de 5 mètres ne soit jamais dépassée ; mais sur certains canaux très fréquentés, pour prévenir ces inconvénients, on n'a pas hésité à dépasser les longueur et largeur minima fixées par la loi. C'est ainsi que pour le doublement des écluses du canal de Saint-Quentin, on a porté la longueur utile à 40 m. 50 et la largeur à 6 mètres.

128. Profondeur des écluses. — Quant à la profondeur de 2 mètres assignée aux voies navigables, elle implique un enfoncement de 1 m. 80 pour les bateaux. Mais si, en section courante, le mouillage de 2 mètres est, à l'extrême rigueur, suffisant, il est indispensable pour faciliter le passage aux écluses de donner à ces dernières un surcroît de profondeur. Les bateaux de 5 mètres de large et de 1 m. 80 d'enfoncement éprouveraient, en effet, de très grandes difficultés à pénétrer dans des écluses présentant seulement 2 mètres de mouillage sur 5 m. 20 de largeur. On fera sagement de leur donner au moins 0 m. 50 de plus, soit 2 m. 50 ; sur le canal

du Centre, on est même allé jusqu'à 2 m. 60 de mouillage sur les buses. En fait, on n'admet pas aujourd'hui moins de 2 m. 20 ou 2 m. 25 pour le mouillage en voie courante et, avec ce mouillage, on doit regarder 2 m. 50 comme la profondeur normale des écluses.

129. Hauteurs de chute. — Les chutes sont commandées en rivière par l'échelonnement des barrages, et dans un canal par le tracé. Pour le moment, il suffit de dire que les chutes les plus habituelles sur les anciens canaux étaient de 2 m. 50 à 2 m. 60, et que maintenant on ne craint pas d'aborder couramment des hauteurs beaucoup plus fortes. C'est ainsi que sur le canal du Centre on a réuni, deux par deux, les écluses de 2 m. 60 de chute en une seule à laquelle on a donné 5 m. 20. Sur le canal de Roanne à Digoin on trouve des chutes de 5 m. 97, 6 mètres et 7 m. 19. Enfin, à Paris, sur le canal Saint-Denis, on peut voir une écluse de 9 m. 92 de chute.

Après avoir ainsi donné une idée générale de ce qu'est une écluse à sas, nous allons entrer dans le détail en prenant comme exemple une écluse du type légal ¹ (Pl. XLV et XLVI, pages 278 et 279).

Il est bien entendu que dans cette description, comme dans tout le cours du présent chapitre, il ne sera question que des parties fixes de l'ouvrage, un chapitre spécial étant réservé aux parties mobiles, c'est-à-dire aux portes d'écluse.

1. Ecluse du Calvaire sur le canal de Roubaix.

§ 2

DESCRIPTION DÉTAILLÉE D'UNE ÉCLUSE
DU TYPE LÉGAL

130. Musoirs et rainures à poutrelles d'amont. —

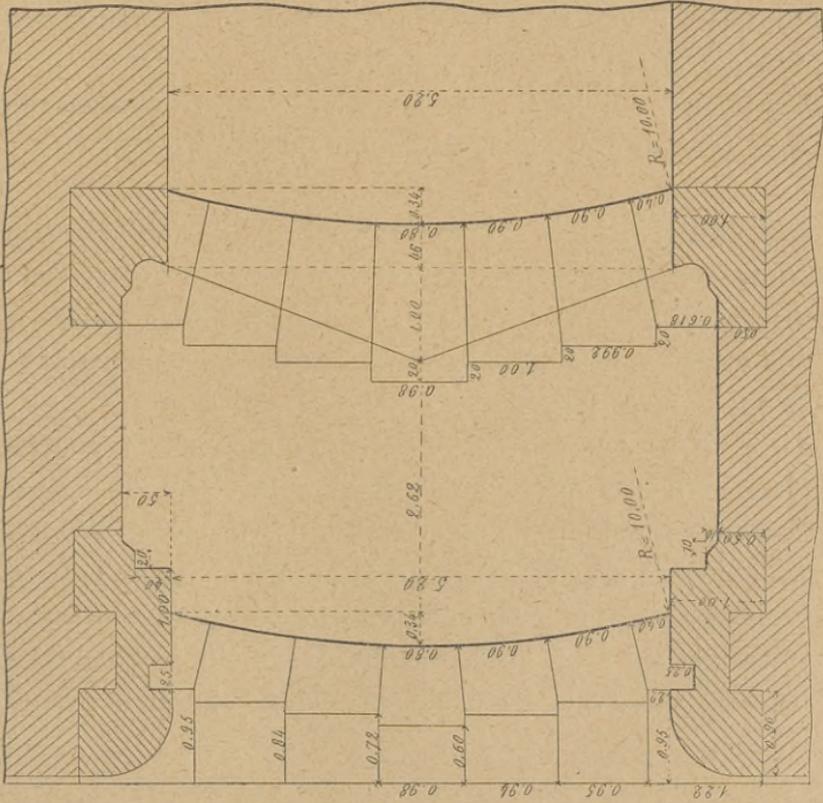
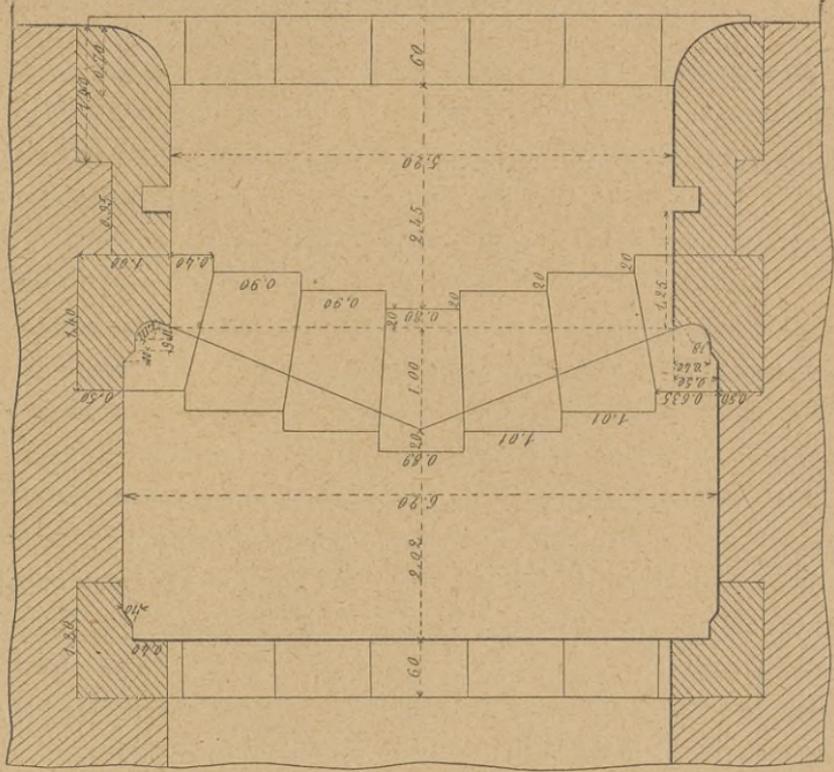
Les murs en retour d'amont et les bajoyers prolongés se rencontreraient suivant des arêtes vives qui seraient, en cas de choc, un danger aussi bien pour les maçonneries que pour les bateaux. On remplace ces arêtes par des musoirs en forme de quart de cercle auquel on donne d'habitude de 0 m. 50 à 1 mètre de rayon.

A 0 m. 10 ou 0 m. 20 en arrière des musoirs, se trouvent des rainures ou coulisses allant jusqu'au radier et dans lesquelles peuvent se loger les extrémités de poutrelles destinées à former batardeau. Ces coulisses peuvent avoir 0 m. 25 de largeur ; leur profondeur est égale à leur largeur.

Dans les anciennes écluses, on trouve souvent deux paires de rainures successives permettant l'établissement de deux rideaux de poutrelles. L'intervalle entre les deux peut alors être rempli de terre, suivant le type bien connu souvent adopté pour les batardeaux. Cette disposition est aujourd'hui abandonnée ; il est facile d'obtenir un batardeau suffisamment étanche avec un seul rideau de poutrelles.

Entre chaque rainure à poutrelles et l'enclave correspondante, il faut une largeur suffisante pour que la pierre puisse résister à la pression de l'eau sur les poutrelles inférieures. En général, on ne donne pas moins de 0 m. 60 à 1 mètre à cette partie de la construction, tant pour satisfaire à la condition ci-dessus énoncée que pour tenir compte de l'éventualité d'un choc.

PLAN



Pl. XLVI. ÉCLUSE A SAS DU TYPE LÉGAL.

131. Enclaves et chambre de la porte d'amont. — La longueur de l'enclave est déterminée par celle du vantail qui doit s'y loger, étant bien entendu qu'un supplément de 0 m. 10 à 0 m. 15 est indispensable pour que l'eau puisse se dégager aisément pendant la manœuvre d'ouverture.

La profondeur de l'enclave doit, *a priori*, être au moins égale à l'épaisseur du vantail, ferrures et ventellerie comprises; mais, en général, il est prudent de calculer très largement cette profondeur. Les vantaux se détériorent avec le temps et ont besoin d'armatures qui augmentent leur épaisseur; quand ils sont ouverts, il est bon que leur parement antérieur soit en retrait sur celui du bajoyer afin d'éviter les chocs; enfin il faut compter avec les herbes ou autres corps étrangers qui peuvent se loger derrière les vantaux. En un mot, il convient que ceux-ci soient, dans tous les sens, très à l'aise dans leur enclave; c'est la meilleure manière de les protéger et d'en rendre la manœuvre et l'entretien faciles.

La chambre de la porte, qui comprend les deux enclaves, est limitée à l'aval par le busc dont la flèche est généralement de $1/6$ à $1/5$ de la largeur de l'écluse.

Le radier de la chambre de la porte doit se trouver en contre-bas du busc de toute la saillie de ce dernier.

132. Mur de chute. — Après la chambre de la porte d'amont, affectant en plan la forme d'un arc de cercle, se trouve le mur de chute qui dessine un ressaut dans le radier et rachète au moins en partie la différence de niveau entre les plafonds des biefs d'amont et d'aval.

A la rigueur, sur les canaux, ce mur de chute pourrait avoir une hauteur précisément égale à la chute de l'écluse, mais cette disposition donnerait lieu à des inconvénients graves. Les ventelles ménagées dans la porte d'amont, au moyen desquelles s'effectue le plus souvent le remplissage du sas, se trouveraient, en effet, au-dessus du niveau du bief d'aval et les bateaux montants, au début de l'éclusée, auraient grande-

ment à souffrir de l'eau qui en jaillit avec violence. Il convient de tenir le couronnement du mur de chute assez bas pour que les ventelles de la porte d'amont soient toujours noyées, sauf à établir en amont des enclaves un mur de garde qui rachète l'excédent de hauteur. Il est bien entendu que le couronnement de ce dernier devra toujours être au moins à 2 m. 50 en dessous du niveau du bief d'amont.

Si le remplissage, au lieu de se faire par des ventelles ménagées dans la porte, s'opérait au moyen d'aqueducs latéraux, comme nous le verrons un peu plus loin, on n'aurait plus les mêmes raisons pour diviser en deux le mur de chute et on pourrait se contenter, comme au canal du Centre, d'un mur de chute unique, sauf à laisser toujours 2 m. 50 de mouillage à l'entrée de l'écluse.

En tout état de choses, il est bon de régler le plafond du bief d'amont aux abords de l'écluse, avec une légère pente dirigée vers cet ouvrage, pour faciliter la vidange, et de ménager immédiatement en amont une petite fosse susceptible de recevoir en dépôt les vases ou autres matériaux amenés par le mouvement de l'eau.

Quant à ceux qui tomberaient dans l'écluse, il y a peu à s'en préoccuper; ils sont généralement emportés par les courants.

Dans les rivières, où le lit ne présente que bien rarement des ressauts brusques analogues à ceux du plafond des canaux, on se dispense généralement de mur de chute. Cependant, rien ne s'opposerait à ce qu'il en fût établi, si cet établissement était justifié par quelque circonstance particulière.

133. Sas, enclaves et chambre de la porte d'aval, murs de fuite. — A l'aval du mur de chute, commence le sas proprement dit; il se prolonge jusqu'à la chambre de la porte d'aval, chambre qui est identique, sauf la hauteur des bajoyers, à la chambre de la porte d'amont.

Viennent ensuite les murs de fuite dont le rôle est de résis-

ter à la pression de l'eau sur la porte d'aval, pression qui tend soit à les renverser, soit à les faire glisser parallèlement à eux-mêmes, suivant les cas. M. Mary rapporte qu'il a vu trois écluses dans lesquelles les murs de fuite étaient séparés par une lézarde des murs d'enclave. Quand on remplissait le sas, les murs de fuite s'inclinaient du haut vers l'aval ; quand on vidait le sas, ils revenaient en place, obéissant ainsi alternativement à la pression de l'eau et à l'élasticité du sol qui leur rendait leur position primitive, quand la pression n'existait plus. Ce retour en place est un accident heureux sur lequel on n'est pas en droit de compter, et encore de semblables mouvements ne peuvent être que très préjudiciables à la conservation des maçonneries ; les dimensions du mur de fuite doivent donc être déterminées de manière qu'il ne puisse faire aucun mouvement et que les maçonneries ne soient en aucun cas soumises soit à un effort de compression supérieur à la limite de sécurité, soit à un effort d'extension.

Il est très facile de déterminer en grandeur et en direction la pression totale Q qu'exerce l'eau sur la face amont d'un vantail et par suite la réaction N du vantail opposé, ainsi que la réaction R des maçonneries ¹. L'ensemble des efforts trans-

1. Désignons, suivant une notation déjà employée, par p et q les hauteurs respectives de l'eau à l'amont et à l'aval au-dessus de l'arête inférieure du vantail, et par l la largeur totale de ce vantail,

$$Q = l \frac{p^2 - q^2}{2}$$

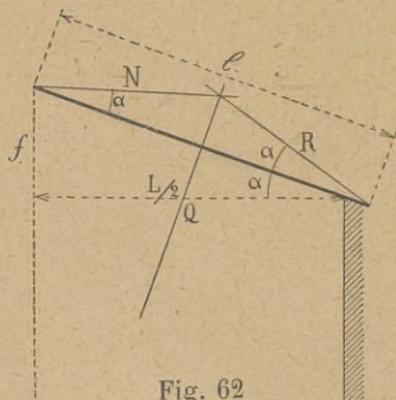


Fig. 62

en tonnes de 1000 kilogrammes.

Désignons encore par L la largeur de l'écluse et par f la flèche du buse (fig. 62), l'angle α que fait le buse avec la normale à l'axe de l'écluse est défini par la relation $\text{tang. } \alpha = \frac{2f}{L}$.

La réaction N est normale à la surface d'appui des poteaux busqués et, par conséquent, à l'axe de l'écluse ; la résultante des réactions N et R doit d'ailleurs

être égale et de sens contraire à la pression Q ; on a donc, nécessairement,

$$N = R = \frac{Q}{2 \sin. \alpha}$$

mis aux maçonneries peut se ramener à deux forces horizontales, l'une parallèle, l'autre perpendiculaire à l'axe de l'écluse, dont il est aisé de connaître l'importance totale ; mais une partie de ces efforts, variable avec la raideur des vantaux, est reportée sur le busc ; et la déformation de ces vantaux fait varier le point d'application de la résultante des efforts effectivement exercés contre les murs de fuite. On est réduit à faire des hypothèses.

M. de Lagrené, qui a traité ce sujet avec beaucoup de développements dans son *Cours de navigation intérieure* (t. III, pages 61 et suivantes), constate qu'en faisant les hypothèses les plus défavorables, les dimensions résultant des calculs restent encore très inférieures à celles que l'on constate sur les ouvrages existants, notamment en ce qui concerne la longueur. Il propose comme règle empirique de multiplier respectivement par 1,5 et par 2 les largeurs et les longueurs calculées.

Il est une circonstance assez fréquente dans la pratique qui conduit nécessairement à donner aux murs de fuite une longueur supérieure à celle dont on pourrait se contenter au point de vue de la stabilité ; c'est le cas dont nous parlerons plus loin, au chapitre IX, où on se sert de ces murs de fuite comme de culées pour l'établissement d'un pont sur la tête aval de l'écluse.

134. Musoirs et rainures à poutrelles d'aval. — Des musoirs, absolument semblables à ceux d'amont, raccordent les murs de fuite avec les murs en retour d'aval. Ces derniers, comme ceux d'amont, ont pour objet de soutenir le terre-plein et aussi de s'opposer aux filtrations, de l'amont à l'aval de l'écluse, le long du parement extérieur des bajoyers.

Est-il nécessaire d'ajouter que des rainures à poutrelles doivent être ménagées dans les murs de fuite en vue de l'établissement d'un batardeau à l'extrémité aval, aussi bien qu'à l'extrémité amont de l'écluse ? On se réserve ainsi la possibilité, pour les réparations à faire aux maçonneries ou aux

portes, de vider complètement le sas entre les deux biefs maintenus à leur niveau normal.

135. Section des bajoyers.—A raison du grand développement des bajoyers, la détermination de la section à leur donner a une importance facile à comprendre ; le prix de la maçonnerie qui entre dans cette partie de l'écluse forme un des principaux éléments de la dépense.

Le bajoyer est sollicité, d'un côté par la pression de l'eau qui peut se trouver dans le sas, de l'autre par la poussée des terres plus ou moins mouillées du terre-plein. Du côté du sas, il présente généralement une paroi verticale afin de diminuer autant que possible le volume d'eau nécessaire pour les manœuvres. Du côté des terres, il s'élargit du sommet à la base ; la différence de largeur étant rachetée, tantôt par une série de retraites (fig. 63), tantôt par un plan incliné (fig. 64).

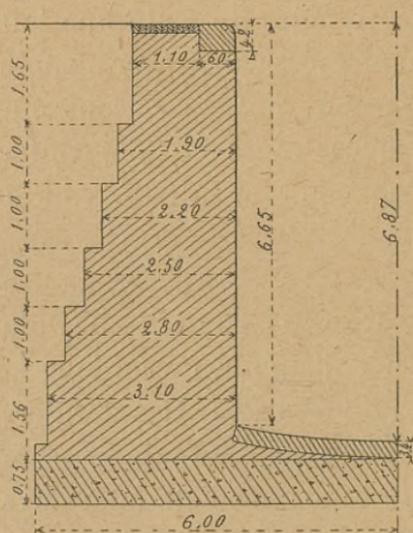


Fig. 63

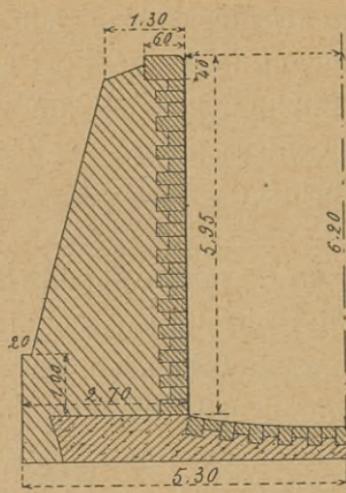


Fig. 64

La largeur au sommet est fixée par des conditions étrangères à la stabilité. Elle doit être suffisante : 1° pour recevoir le couronnement, pierre de taille de 0 m. 60 à 0 m. 80 de lar-

geur dont l'épaisseur peut aller jusqu'à 0 m. 40 et au delà ; 2° pour porter, au moins en partie, le pavage maçonné généralement établi en arrière du couronnement, ou pour permettre l'établissement d'un solin doucement incliné, destiné à empêcher que ce couronnement ne soit poussé au vide par l'effet de la gelée¹. On arrive ainsi à une épaisseur minimum de 1 m. 20 à 1 m. 30 au sommet du bajoyer.

Cette dimension ainsi fixée, la détermination de l'épaisseur à la base et, par conséquent, de l'épaisseur moyenne, n'est plus qu'un problème de résistance des matériaux dont on complètera les données en faisant les hypothèses les plus plausibles sur la poussée des terres du terre-plein, et pour la solution duquel on examinera successivement les diverses combinaisons possibles entre les efforts exercés sur l'une et l'autre face du mur. On s'assujettira : d'une part, à ne pas soumettre les maçonneries à un effort de compression supérieur à la limite de sécurité ; d'autre part, à ne pas les faire travailler à l'extension.

En somme, et en laissant à l'indication suivante son caractère purement empirique, une épaisseur moyenne égale à 0,40 de la hauteur peut être considérée comme donnant une grande sécurité.

La figure 63 montre la section des bajoyers d'une écluse des canaux du Nord². La hauteur est de 6 m. 65 au-dessus du radier du sas ; le parement intérieur est vertical ; l'épaisseur passe de 1 m. 70 au sommet à 3 m. 40 au pied. Pour racheter cette différence de largeur, le parement du côté des terres présente cinq retraites, quatre de 0 m. 30 et une de 0 m. 20.

1. Chacun sait que l'eau lorsqu'elle se congèle augmente de volume ; il en est de même de la terre imprégnée d'eau ; et les effets de cette expansion sont d'autant plus redoutables que celle-ci peut se faire moins librement. Si on congèle de l'eau dans un vase à parois cylindriques, il est infailliblement brisé ; dans un vase en forme de tronc de cône, la glace s'élève le long des parois inclinées sans exercer d'effort susceptible de les rompre. C'est en vertu du même principe que le solin établi derrière le couronnement empêche qu'il ne soit poussé au vide lors de la congélation des terres contiguës.

2. Ecluse du Calvaire sur le canal de Roubaix.

L'épaisseur moyenne est de 2 m. 29, soit 0,35 environ de la hauteur.

Voici encore (fig. 64) un type de bajoyers qui a été adopté pour les 200 écluses du canal de l'Est et qui a donné de fort bons résultats. La hauteur est de 5 m. 95 au-dessus du radier du sas ; le parement intérieur est vertical ; l'épaisseur passe de 1 m. 30, dimension mesurée à 0 m. 40 au-dessous de la face supérieure du couronnement, à 2 m. 50, à 4 m. 95 au-dessous du même niveau. Pour racheter cette différence de largeur, le parement, du côté des terres, est disposé en plan incliné. A 1 mètre au-dessus du radier un petit empattement fait passer la largeur de 2 m. 50 à 2 m. 70 ; au-dessous, le parement extérieur est vertical. La disposition de ce parement, en plan incliné, a été depuis longtemps recommandée par M. l'inspecteur général Graeff, comme favorisant le tassement des remblais et donnant, par conséquent, des garanties contre les filtrations longitudinales qu'il y a grand intérêt à prévenir. Si on calcule l'épaisseur moyenne de ce type de bajoyers, on constate qu'elle n'est guère que de 0,35 de la hauteur ; mais en réalité elle est plus considérable, des contreforts verticaux étant établis tous les 6 ou 7 mètres, qui consolident le mur et, en même temps, coupent, le cas échéant, les filtrations longitudinales.

Au droit des portes, les bajoyers ont besoin d'être renforcés pour résister à l'effort de renversement résultant de la réaction l'un sur l'autre des deux vantaux busqués en charge. D'après une règle empirique, il convient de donner au bajoyer, sur toute sa hauteur, la même épaisseur qu'à la base. Le parement, du côté des terres, devient vertical et la section transversale prend la forme d'un rectangle.

L'élargissement du bajoyer au sommet donne, d'ailleurs, toute facilité pour l'installation des colliers des portes et des mécanismes de manœuvre ; aussi a-t-on l'habitude d'appliquer le profil spécial sur toute la longueur nécessaire à cette installation.

136. Nature des maçonneries.— Il est d'usage de faire en pierres de taille toutes les parties de sujétion des parements vus des bajoyers : couronnements, musoirs, rainures à poutrelles, angles des enclaves et chardonnets, logements des échelles de sauvetage. Il est bien entendu que ces pierres ne font aucune saillie sur le nu des maçonneries et ont toutes leurs arêtes saillantes arrondies.

Entre les chaînes de pierre de taille, le parement est, suivant les ressources du pays, en moellons smillés ou piqués de hauteur d'assises moitié moindre ou en briques. Dans ce parement, on place de distance en distance, en quinconce, des pierres de taille présentant chacune, en leur centre, une cavité où les mariniers peuvent appuyer leurs gaffes, crocs, bâtons de manœuvre, etc., sans endommager les maçonneries, et où on peut aussi placer une boucle d'amarre. Ces pierres sont d'un aspect satisfaisant et, comme elles forment boutisses, elles contribuent à assurer une liaison plus étroite entre le parement et la maçonnerie de massif.

Cette liaison est très importante ; elle est, malheureusement, très difficile à réaliser, quels que soient les soins mis à l'exécution, à cause du tassement inégal des maçonneries en contact. Le décollement du parement avec toutes ses conséquences : bombement, réduction de largeur du sas, etc... est un des accidents que l'on a le plus souvent à constater dans les bajoyers d'écluse.

L'emploi des différentes natures de maçonneries énumérées ci-dessus est d'ailleurs plutôt consacré par l'usage que commandé par une nécessité bien démontrée. Quand on a reconstruit naguère les écluses du canal Saint-Denis, on a employé exclusivement la maçonnerie de meulières hourdée au mortier de ciment avec parements à joints incertains ; la pierre de taille a été absolument proscrite.

137. Détails d'appareil.— Les pierres de taille qui constituent généralement les buses, sont assemblées comme les cla-

veaux d'une plate-bande ou d'une voûte (pl. XLV et XLVI, pages 278 et 279).

La saillie du busc, obtenue par un refouillement vers l'amont, varie de 0 m. 25 à 0 m. 30; la partie de chaque claveau noyée dans le radier ne doit pas avoir une épaisseur inférieure à cette saillie. C'est ainsi qu'à l'écluse représentée dans les planches XLV et XLVI, la saillie du busc est de 0 m. 28 et l'épaisseur des claveaux de 0 m. 56; leur longueur varie de 1 m. 40 à 1 m. 66; leur largeur est en rapport avec l'épaisseur et la longueur; ce sont, en définitive, des pierres de grandes dimensions.

Vers l'amont, les redans des claveaux se raccordent avec les assises du parement en moellons du radier de la chambre de la porte. Il en est de même vers l'aval lorsque le busc est de niveau avec le radier, dans le sas ou entre les murs de fuite, autrement dit quand il n'y a pas de mur de chute. Quand il y a un mur de chute, celui-ci constitue une voûte en arc de cercle à axe vertical et les extrémités aval des claveaux du busc forment, à la partie supérieure, la douelle de cette voûte. La flèche et le rayon de ladite voûte sont respectivement de 0 m. 36 et de 10 mètres à l'écluse représentée dans les planches XLV et XLVI.

Il résulte de ce qui précède que les joints des claveaux des buses sont des plans verticaux dont les traces horizontales convergent en un même point. Dans certains cas, paraît-il, pour des chutes fortes, on a, tout en conservant les mêmes traces sur le plan horizontal correspondant au dessus du busc, donné aux joints des inclinaisons variant depuis 45° jusqu'à 1 de base pour 1 1/2 de hauteur, de façon que les claveaux forment voûte non seulement contre une action horizontale de l'amont vers l'aval, mais encore contre un effort vertical de bas en haut. Il doit en résulter de grandes complications de taille et de pose, et nous nous demandons si elles sont en rapport avec le supplément de sécurité obtenu.

Les claveaux extrêmes de chaque busc, les bourdonnières

s'engagent sous les bajoyers, non seulement du sas, mais de la chambre de la porte et servent de culées à la voûte ou à la plate-bande du busc. Chacune d'elles fournit la première assise du chardonnet correspondant et forme une partie du radier de l'enclave, suffisante pour qu'on puisse y sceller la crapaudine sur laquelle repose le poteau tourillon. Ces pierres atteignent donc des dimensions exceptionnelles et elles exigent une taille ainsi qu'une pose particulièrement soignées. Il est indispensable que l'emplacement de la crapaudine ne soit pas trop voisin du bord de la pierre, celle-ci pouvant dans ce cas être dérangée ou brisée. Si, pour satisfaire à cette condition, on arrivait à des dimensions inadmissibles, il vaudrait mieux faire la bourdonnière en deux morceaux.

Les chardonnets, dont les bourdonnières forment l'amorce, demandent à être dressés avec le plus grand soin ; c'est un point sur lequel nous reviendrons en parlant des portes.

Il va sans dire que pour les buscs ainsi que pour les chardonnets on doit employer la pierre la plus résistante qu'il soit pratiquement possible de se procurer.

Les pierres qui constituent les musoirs, les rainures à poutrelles, les angles amont des enclaves, les couronnements, n'appellent aucune observation.

Des plates-bandes en pierre de taille sont posées à l'extrémité amont du radier et à l'origine amont de la chambre de la porte d'amont, à l'origine amont de la chambre de la porte d'aval et à l'extrémité aval du radier. A l'écluse représentée dans les planches XLV et XLVI, les deux premières sont réunies et sont appareillées en plate-bande pour résister à un effort de l'amont vers l'aval.

138. Radier. — Généralement, le radier du sas présente un parement en moellons smillés ou piqués, dont les joints continus sont, de préférence, placés normalement au courant. On donne souvent à ce parement la forme d'une voûte renversée, ayant une flèche de $1/20$ environ (0 m. 25 pour

une écluse de 5 m. 20) au-dessous du niveau du busc d'aval. On augmente ainsi la résistance du radier à l'effet des sous-pressions qui pourraient tendre à le soulever. Cette disposition facilite aussi l'assèchement du sas en cas de vidange complète de l'écluse.

Le massif du radier se fait d'ordinaire en béton. L'épaisseur peut être calculée d'après l'importance des sous-pressions possibles, en considérant le radier soit comme une pièce encastrée à ses deux extrémités sous les bajoyers, soit comme une voûte. Heureusement les sous-pressions ne se transmettent à travers le sol, même perméable, qu'avec de grandes pertes de charge et on cherche d'ailleurs à les atténuer autant qu'on peut. C'est ainsi que souvent on ménage un parafoille sous le mur de chute d'amont, pour couper les filtrations qui tendraient à se produire de l'amont à l'aval sous le radier, en lui donnant d'autant plus de profondeur que le terrain est plus perméable. On ménage également un parafoille sous la plate-bande d'aval.

Aussi peut-on généralement, pour l'ouverture légale de 5 m. 20, se contenter d'un radier de 0 m. 80 à 1 mètre d'épaisseur, quand le sol n'est pas très perméable. Dans le cas contraire, on donnera, pour la même ouverture, 1 m. 30 à 1 m. 50 d'épaisseur au radier. Ces chiffres comprennent l'épaisseur du parement en moellons.

Il va sans dire que ces épaisseurs augmentent avec l'ouverture de l'écluse. Pour la grande écluse de Bougival, qui a 17 mètres de largeur, on est allé jusqu'à 4 m. 50 d'épaisseur sous les têtes et 3 m. 50 dans le sas.

Un mode de fondation très usité, surtout pour les écluses en rivière, consiste à couler le béton de fondation dans une fouille draguée à la profondeur voulue et limitée par une enceinte de pieux et palplanches, le long de laquelle le béton se relève en bourrelet. On épuise dans la cuvette ainsi formée, et la construction se poursuit à sec. C'est au moment de la mise à sec que la solidité du radier est le plus menacée par les

sous-pressions. A ce moment, en effet, le béton est loin d'avoir acquis toute sa cohésion; d'ailleurs, s'il a été coulé sous l'eau, il ne saurait présenter les mêmes garanties de résistance que s'il avait été employé à sec ¹. D'autre part, il n'a pas encore reçu son parement en moellons; enfin l'encastrement sous les bajoyers n'existe pas encore. C'est vraiment là le moment dangereux pour le radier qui ne résiste guère alors que par le poids des maçonneries.

Si on craignait que ce poids fût insuffisant et qu'il se produisît des dislocations, il conviendrait, avant de procéder aux épaissements, de charger le radier avec les matériaux destinés à entrer plus tard dans la construction. Cet approvisionnement, sur le lieu d'emploi lui-même, n'est pas une fausse manœuvre; il y a donc là une précaution qui ne coûte rien; on peut la recommander dans tous les cas.

Le parafoille établi sous la plate-bande d'aval, dont nous avons parlé plus haut, a également pour effet de prévenir tout danger d'affouillement sous l'action des ventelles, action qui se fait sentir fort loin, jusqu'à 15 ou 20 mètres des portes.

En ce qui concerne les ventelles d'amont, c'est le radier même du sas qui résiste à leur action, et l'expérience prouve l'utilité à cet effet du parement de moellons. Le béton, même recouvert d'un enduit, s'exfolie, se corrode et finalement s'affouille; des trous, dont la profondeur atteignait 0 m. 40 et 0 m. 50, ont été constatés dans des radiers qu'on avait cru pouvoir se dispenser de revêtir.

139. Arrière-radier. — On n'est garanti par le radier contre le jeu des ventelles d'aval que sur la longueur des murs de fuite. Si on ne prenait pas de précautions spéciales, le sol naturel en aval de l'écluse serait plus ou moins affouillé, et, alors même que la solidité de l'ouvrage ne serait pas compro-

1. Si on peut, par exemple, porter sans imprudence à 4 kilogrammes par centimètre carré la charge du béton mis en place à sec et pilonné, on devra réduire à 4 kilogramme celle du béton coulé sous l'eau.

mise, il n'en résulterait pas moins des désordres et des mouvements de terre susceptibles de gêner le passage des bateaux.

On peut y remédier par l'établissement d'un arrière-radier, d'environ 0 m. 50 d'épaisseur, en gros enrochements ou en pierres plates posées à la main ; si les murs de fuite sont assez longs, cela suffira. Mais, dans le cas contraire, il sera nécessaire de maçonner cet arrière-radier ; car le déplacement des enrochements par le courant des ventelles aurait des conséquences bien plus graves que le mouvement des terres. De véritables écueils pourraient se former, dont rien n'avertirait les bateaux et contre lesquels ceux-ci courraient le risque de se blesser. En les maçonnant, des libages, des pierres brutes, même des matériaux de démolition suffisent pleinement pour un arrière-radier ; car ils résistent alors par leur masse et leur cohésion.

§ 3

TYPES DIVERS D'ÉCLUSES A SAS

140. Diversité dans les dimensions.—Malgré les heureux effets de la loi du 5 août 1879, on trouve encore des écluses dont les dimensions sont inférieures aux dimensions légales et qui ne peuvent recevoir qu'un matériel spécial ; on doit citer en première ligne les écluses du canal de Berry, dont la largeur n'est que de 2 m. 70 avec 31 m. 85 de longueur utile. Les écluses du canal de l'Ourcq, qui aboutit au bassin de la Villette, à Paris, n'ont que 3 m. 20 de large ; si elles mesurent 58 m. 80 de long, c'est qu'elles sont destinées à recevoir deux bateaux à la suite l'un de l'autre.

Certaines écluses ont une largeur supérieure mais une longueur inférieure à la dimension légale correspondante, par exemple : les écluses du canal du Midi, larges de 5 m. 74

avec une longueur utile de 31 mètres ; celles du canal latéral à la Garonne, larges de 6 mètres et longues (longueur utile) de 30 m. 65 ; celles du canal de la Somme, larges de 6 m. 50 avec 34 m. 90 de longueur utile.

Enfin, sur nombre de voies navigables, on trouve des écluses dont les deux dimensions en plan dépassent, et de beaucoup, les chiffres inscrits dans la loi. C'est ainsi que la largeur et la longueur utile du sas atteignent respectivement :

Sur la Marne canalisée, 7 m. 80 et 45 mètres ;

Sur la Petite-Saône, de Gray à Verdun, 8 mètres et 39 m. 50 ;

Sur l'Yonne canalisée, 10 m. 50 et 96 mètres ;

Sur la Haute-Seine, de Montereau à Paris, 12 mètres et 180 mètres ;

Sur la Grande-Saône, de Verdun à Lyon, 16 mètres et 150 m. 40.

Citons encore la grande écluse de Bougival, sur la Basse-Seine, dont la largeur aux têtes est de 12 mètres et la longueur utilisable de 230 m. 70. La largeur du sas est de 17 mètres sur 220 mètres de longueur.

141. Diversité dans les formes. — Dans l'écluse type dont la description a été donnée ci-dessus, les bajoyers du sas sont verticaux et forment le prolongement des bajoyers des têtes. C'est la disposition généralement adoptée aujourd'hui. Dans nombre d'écluses anciennes, les bajoyers du sas présentent un fruit ; quelquefois même, comme dans les écluses primitives du canal du Midi, ils sont courbes en plan de telle sorte que le sas est plus large au milieu qu'aux extrémités. On ne voit pas bien quels pouvaient être les avantages de ces dispositions ; les inconvénients, sujétions nombreuses dans la construction et plus grande consommation d'eau en exploitation, sont évidents.

Sur le même canal du Midi, à Agde, on trouve une écluse établie à la rencontre de trois biefs de niveaux différents, l'un

vers Cette, l'autre vers Béziers et le troisième conduisant au port d'Agde (fig. 65). Le sas est circulaire, d'un rayon suffisant

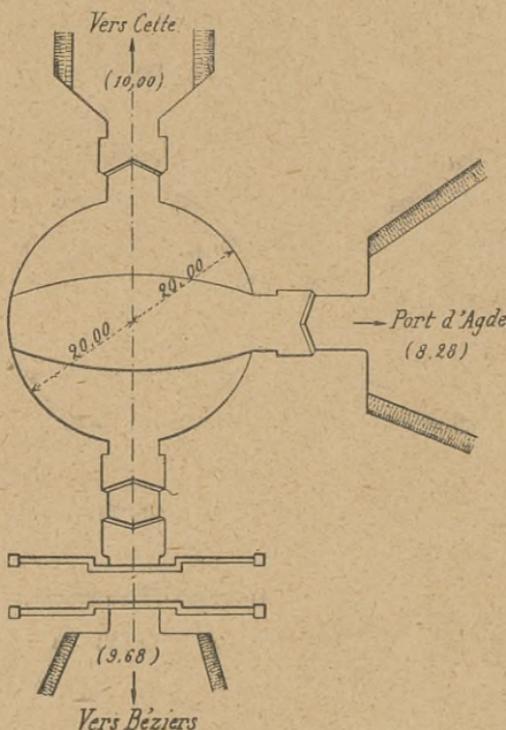


Fig. 65

pour que les bateaux puissent virer ; quatre portes busquées permettent les mouvements dans tous les sens. Le sas circulaire a été nécessairement d'une exécution très coûteuse ; la vidange et le remplissage sont extrêmement lents. Il eût sans doute été préférable à tous égards de construire deux écluses.

M. l'inspecteur général Flamant, dans une note insérée aux *Annales des ponts et chaussées* (1883, 1^{er} semestre, page 562), donne la description sommaire d'une écluse établie à Bromberg (Prusse), qui forme rebroussement ; les deux têtes sont dans le même plan vertical.

Une disposition fréquente consiste à donner au sas une largeur supérieure à celle des têtes, de façon à permettre le rangement des bateaux sur plusieurs files et à faciliter l'éclusage en une seule fois des grands convois. C'est notamment la

disposition adoptée pour la grande écluse de Bougival où le sas a 17 mètres de large sur 220 mètres de long, alors que la largeur aux têtes n'est que de 12 mètres. Aux écluses de Port-à-l'Anglais, pour cette même largeur aux têtes, le sas mesure 16 mètres de large sur 180 mètres de long. Une autre disposition à signaler est celle qui consiste à diviser le sas en deux parties de longueurs inégales au moyen d'une troisième porte intermédiaire. C'est le cas à Marly-Bougival. Le sas, large de 12 mètres et long de 100, a été divisé de telle sorte qu'on dispose en réalité de trois sas longs respectivement de 40, 60 et 100 mètres ; on les utilise suivant les exigences de la navigation.

Il est bien entendu que les indications ci-dessus sont données à titre d'exemple et n'ont aucunement la prétention de constituer une énumération complète de tous les cas possibles

112. Diversité dans le mode de construction. — En donnant plus haut la description d'une écluse du type légal, nous avons dit qu'en général la pierre de taille était largement employée pour la confection des parements, mais nous avons dit aussi que ce n'était là qu'une habitude, et nous avons mentionné les écluses du canal Saint-Denis dans la construction desquelles il n'entre que des moellons bruts hourdés au mortier de ciment.

En 1888 nous avons vu en Hongrie, sur le canal François-Joseph, des écluses entièrement construites en béton et remontant au XVIII^e siècle. Assurément leur aspect n'était pas brillant, mais elles continuaient à fonctionner convenablement.

Enfin, on peut construire des écluses en bois. M. Mary cite l'exemple d'un ouvrage de ce genre exécuté à titre provisoire. Les buscs, le radier, les bajoyers, tout est en pièces de bois faciles à ajuster et le système se prête ainsi à une construction rapide. M. Mary fait toutefois observer que, la charpente n'ayant par suite de son faible poids que peu d'adhérence avec le sol, on ne saurait prendre trop de précautions pour prévenir le passage de l'eau sous le radier ou derrière les bajoyers.

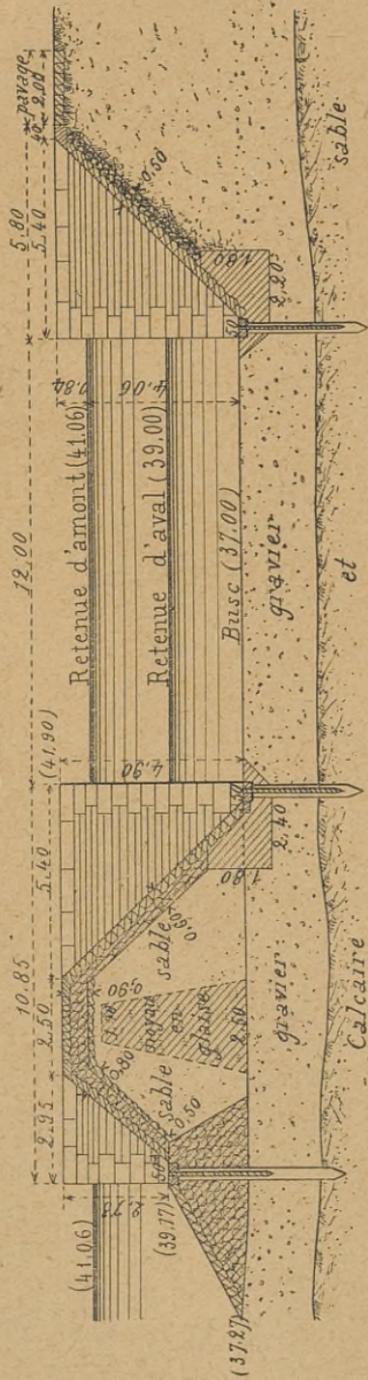
Par suite du haut prix des bois en France à l'époque actuelle, cette solution ne paraît guère susceptible d'application chez nous. Il n'en est pas de même dans d'autres pays, la Russie ou l'Amérique, par exemple.

143. Écluses à têtes séparées. — Les deux têtes, en maçonnerie, sont indépendantes l'une de l'autre et le sas qui les réunit est limité par des talus perreyés. Ce système a été en faveur, à une certaine époque, pour l'exécution d'écluses en rivière dont la fondation est souvent difficile et pour le service desquelles on n'a pas à compter avec la consommation d'eau ; il a été employé notamment lors de la canalisation de l'Yonne et de la Haute-Seine. La planche XLVII donne le plan et une coupe en travers du sas d'une écluse de la Haute-Seine. Les deux têtes, larges de 12 mètres et longues chacune de 45, sont séparées par un sas de 172 mètres de longueur. On comprend qu'en présence d'un pareil développement on ait été tenté de rechercher l'économie dans cette partie de la construction.

Le sas a 13 mètres de largeur au plafond avec talus inclinés à 45°. Du côté de la rive c'est la berge elle-même qui a été dressée et revêtue d'un perré soutenu au pied par une file de pieux et palplanches et par un massif de béton. Du côté du large le sas est limité par le talus intérieur d'une digue en sable avec noyau en terre glaise, entièrement perreyée sur toute sa surface. La largeur du couronnement de cette digue varie entre 2 m. 20 et 3 mètr. Le perré du talus intérieur est soutenu au pied comme le perré de rive. Le perré du talus extérieur de la digue repose sur une file de pieux et palplanches et sur un fort massif d'enrochements arasés l'un et l'autre au-dessus du niveau de la retenue d'aval.

Le sas n'a pas de radier ; le plafond est seulement protégé à l'aval de la tête amont, sur une longueur suffisante pour résister aux affouillements qui pourraient être provoqués par le jeu des ventelles.

Coupe en travers du Sas



Plan



Pl. XLVII. ÉCLUSE A TÊTES SÉPARÉES DE LA HAUTE-SEINE

Au début les perrés de la rive et de la digue n'avaient pas été établis avec les précautions et les dimensions figurées sur la planche XLVII ; on s'était notamment contenté de perrés à pierres sèches ; mais ils n'ont pas résisté longtemps aux effets destructeurs des variations incessantes du niveau de l'eau dans le sas. Il en est résulté des avaries inquiétantes au point de vue de la conservation des ouvrages et gênantes pour la navigation. Dès 1868, il a fallu substituer aux perrés à pierres sèches des perrés maçonnés solidement assis comme le montre le dessin.

De ce fait l'économie espérée, par rapport aux bajoyers en maçonnerie à parement vertical, s'est trouvée singulièrement diminuée ; d'autant plus que le système des têtes indépendantes conduit à donner à ces dernières des dimensions plus importantes et un plus grand développement de parements, en un mot les rend plus coûteuses.

L'entretien d'un sas à talus perreyés est, d'autre part, beaucoup plus dispendieux. Bien que maçonnés, les perrés présentent toujours certaines solutions de continuité qui ont pour conséquence l'entraînement des remblais de la digue du large. Nous avons eu l'occasion de constater personnellement l'existence de cavités de plusieurs mètres cubes dans des digues dont l'aspect était satisfaisant ; la sonorité des revêtements au droit de ces cavités pouvait seule en déceler la présence. D'autre part l'impossibilité de mettre le sas à sec sans moyens d'épuisement très puissants est encore un inconvénient sérieux au point de vue de l'exécution des travaux d'entretien.

Enfin la grande capacité du sas, si elle est sans inconvénients en rivière au point de vue de la consommation d'eau, n'augmente pas moins d'une façon fâcheuse la durée des manœuvres. Lors du remplissage notamment, la largeur du sas, et par conséquent le volume d'eau à introduire, augmente précisément au fur et à mesure que la charge sur les orifices d'amenée de l'eau diminue.

Pour ces différents motifs, le système des écluses à têtes

indépendantes est aujourd'hui abandonné ; mais il est bon de connaître, pour ne point s'y laisser aller, les illusions auxquelles il a donné lieu.

144. Écluses accolées. — Sur les voies navigables où le trafic est considérable et où le développement de ce trafic serait entravé par l'insuffisance de débit des écluses, on a été conduit à doubler ces ouvrages, en accolant deux écluses séparées par un bajoyer commun.

On peut citer comme exemple les écluses accolées récemment construites sur la dérivation de la Scarpe autour de Douai¹ (pl. XLVIII, page 300). Ces écluses, de 4 m. 10 de chute, ont encore la longueur utile légale (38 m. 50) mais la largeur a été portée à 6 mètres et le mouillage sur les buses à 2 m. 50, de manière à faciliter et à accélérer les mouvements des bateaux dans les sas. Le bajoyer commun n'a pas moins de 8 mètres de largeur ; c'est dans ce bajoyer que sont pratiquées les enclaves des portes à vantail unique ; on y a d'ailleurs rassemblé la majeure partie des appareils de manœuvre, de façon à ne laisser sur les bajoyers de rives rien, pour ainsi dire, qui puisse gêner le halage. C'est là une disposition extrêmement judicieuse au point de vue de l'exploitation.

Elle se retrouve dans les nouvelles écluses du canal Saint-Denis², mais le bajoyer central n'a que 6 mètres de largeur et les deux écluses accolées sont de dimensions différentes. L'une a 5 m. 20 de largeur et 38 m. 85 de longueur utile, elle est destinée aux bateaux du type légal ; l'autre, large de 8 m. 20 avec une longueur de 45 mètres, qui pourra être portée ultérieurement à 62 m. 50, est susceptible de recevoir les plus grands bateaux qui fréquentent la Basse-Seine.

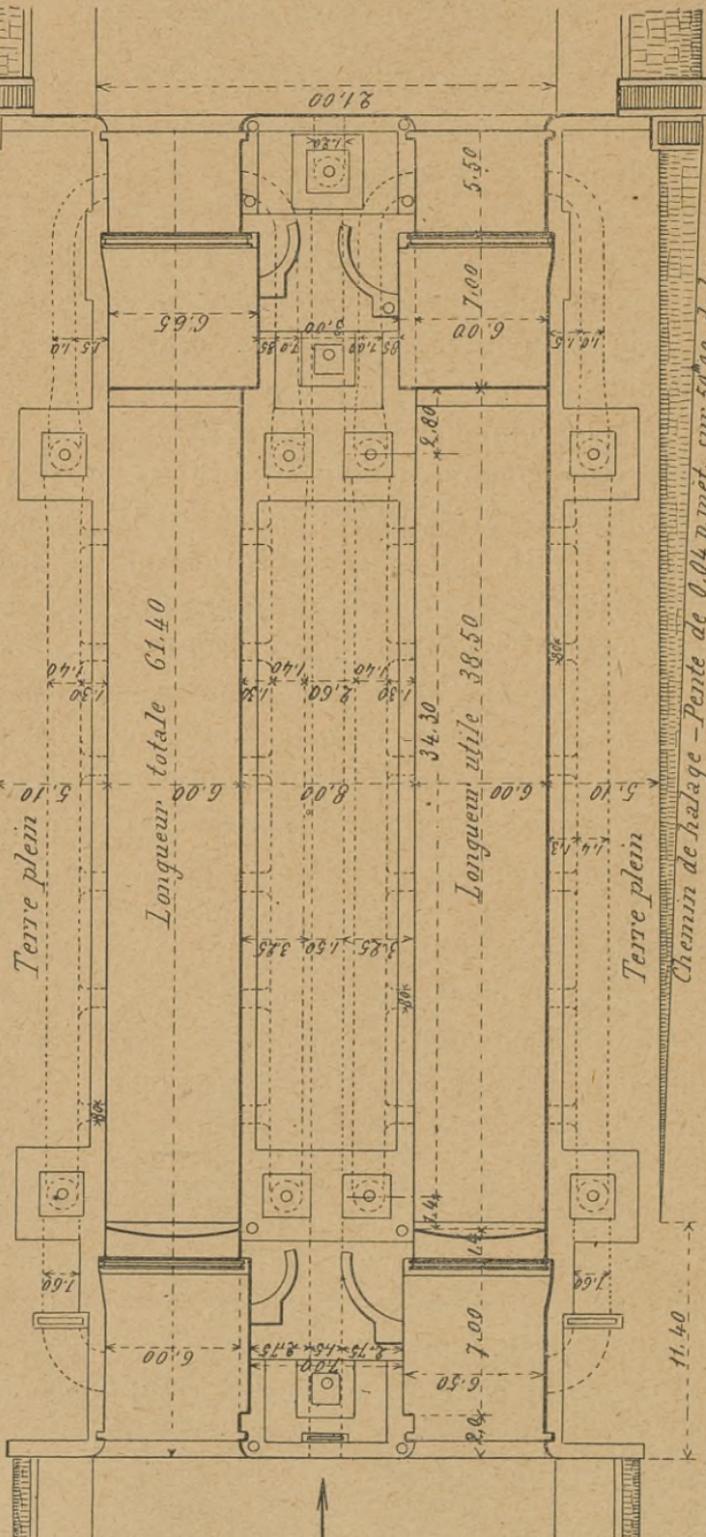
Sur cette partie du fleuve, entre Paris et Rouen, on trouve

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1896, 2^e semestre ; notice sur la dérivation de la Scarpe autour de Douai, par M. Barbet.

2. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1893, 2^e semestre ; note sur les nouvelles écluses du canal Saint-Denis, par M. Renaud.

PLAN

Chemin de halage - Pente de 0.04 par m. sur 50.00 de longueur



PI. XLVIII. ÉCLUSES ACCOLÉES DE LA DÉRIVATION DE LA SCARPE

également, à chaque barrage, deux écluses accolées. L'une a 8 m. 20 de largeur et 53 m. 75 de longueur utile ; l'autre, large de 12 mètres aux têtes présente un sas de 17 mètres de longueur sur 140 de longueur. La première sert aux bateaux isolés, la seconde aux convois remorqués. Cette dernière est en outre habituellement divisée dans sa longueur par une porte intermédiaire de manière à pouvoir proportionner la longueur du sas à la consistance du convoi.

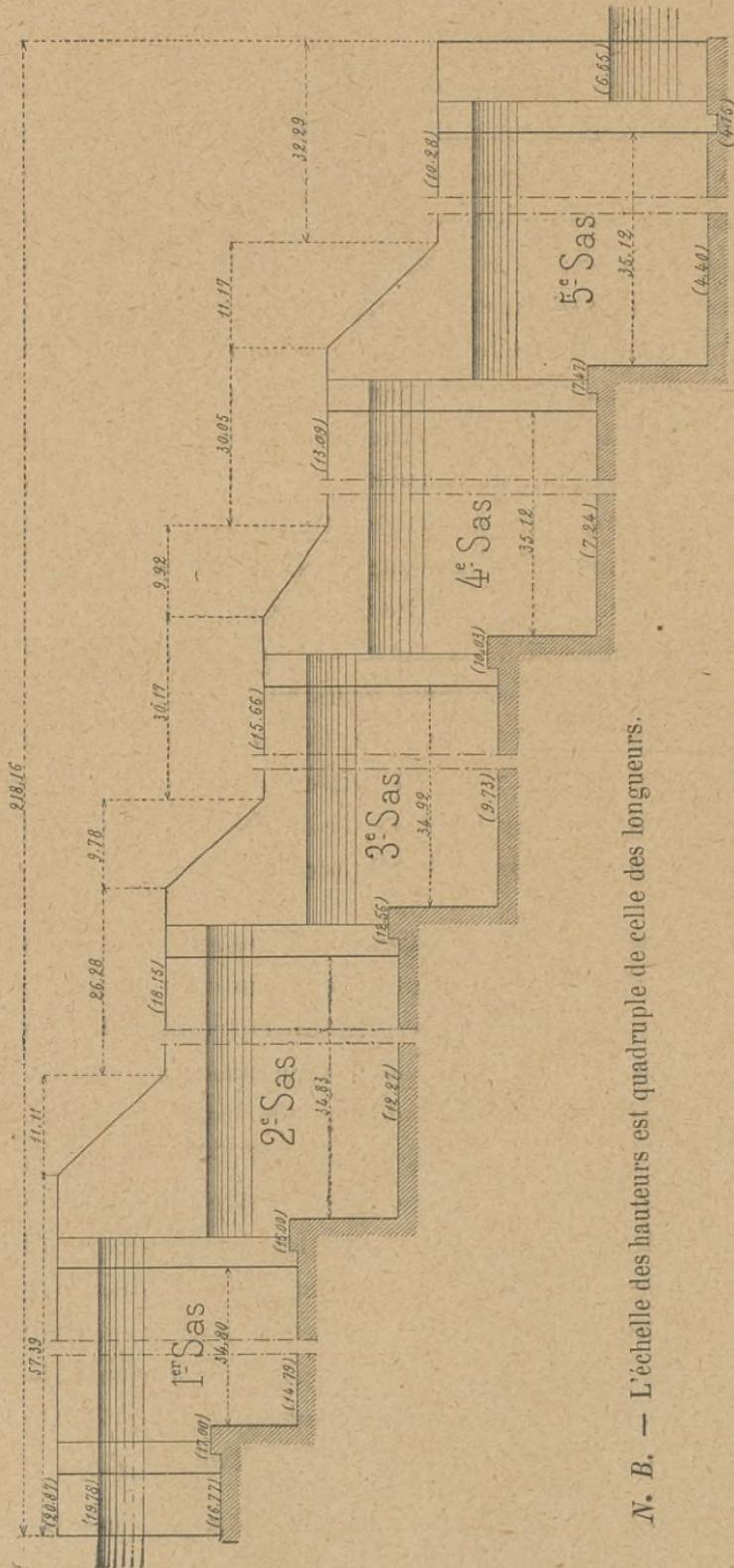
A Bougival la longueur du sas de la grande écluse a été portée à 220 mètres, de manière à permettre l'éclusage simultané de tous les bateaux qui composent les plus grands convois que la compagnie du touage remorque entre l'embouchure de l'Oise et celle du canal Saint-Denis, c'est-à-dire au maximum 17 péniches et le toueur. On a, en outre, à Bougival, restauré une ancienne écluse, construite par M. Poirée en 1838, dont la longueur utile est de 116 mètres et la largeur de 11 m. 70, mais avec 2 m. 70 seulement de mouillage, au lieu de 3 m. 20 comme sur le reste de la Basse-Seine. En somme, à Bougival, il y a trois écluses accolées.

145. Ecluses superposées. — Lorsque la chute à racheter est très considérable, on peut avoir recours à l'emploi d'écluses superposées. Plusieurs sas sont alors réunis dans un même ouvrage et disposés de telle sorte que la tête aval de la première écluse forme la tête amont de la deuxième, et ainsi de suite. La planche XLIX (page 302), qui donne une coupe longitudinale des cinq écluses superposées des Fontinettes, sur le canal de Neuffossé (chute totale 13 m. 13), fait bien comprendre la disposition et le mode de fonctionnement de ces ouvrages.

Les premières écluses superposées sont contemporaines des premiers canaux à point de partage. Sur le canal de Briare à Rogny, sept écluses superposées rachetaient une chute totale de 24 m. 85¹. A Béziers, sur le canal du Midi, sept sas successifs

1. Les écluses de Rogny sont abandonnées depuis 1882 par suite d'une modification dans le tracé du canal.

COUPE LONGITUDINALE



N. B. — L'échelle des hauteurs est quadruple de celle des longueurs.

sont réunis dans un même ouvrage. La construction des écluses des Fontinettes, pour remonter à une époque moins ancienne, date encore du XVIII^e siècle ¹. Lors de leur établissement, ces ouvrages ont excité une admiration facile à comprendre et dont on trouve la trace dans les noms pompeux attribués à certains d'entre eux : *Escalier des Géants*, *Escalier de Neptune*. Dans des proportions plus modestes, on peut encore citer : les écluses superposées du Guétin, sur le canal latéral à la Loire, établies d'abord avec trois sas et qui n'en présentent plus que deux aujourd'hui ; les deux écluses superposées de Frouard au moyen desquelles se fait la jonction du canal de la Marne au Rhin avec la Moselle canalisée, etc...

Les écluses superposées telles qu'elles existent présentent un grave inconvénient, le croisement des bateaux est impossible sur toute la longueur de l'ouvrage. Si on voulait les faire passer alternativement dans un sens et dans l'autre, comme on s'efforce de le faire aux écluses ordinaires, l'intervalle de temps qui s'écoulerait entre l'admission de deux bateaux consécutifs, marchant dans le même sens, s'accroîtrait outre mesure et le nombre total de bateaux que l'ouvrage pourrait écouler, son *débit*, se réduirait singulièrement. On est donc conduit forcément à régler le passage qui se fait exclusivement dans un sens puis dans l'autre, pendant des périodes plus ou moins longues.

Aux Fontinettes, les bateaux montants mettaient en moyenne 1 h. 35 pour traverser les cinq écluses ; les bateaux descendants ne mettaient que 1 h. 10, parce que l'on pouvait, sans inconvénient, ouvrir les ventelles des portes de toute leur

1. Les anciennes écluses sont restées sans changement notable jusqu'en 1888, époque où elles ont été délaissées à raison de la mise en service de l'ascenseur hydraulique des Fontinettes construit tout à côté. A la suite d'une avarie grave survenue dans les fondations, l'ascenseur a dû être mis en chômage du 7 avril 1894 au 29 mars 1897, et on s'est alors applaudi d'avoir conservé les écluses qui ont permis de maintenir la navigation. Toutefois, avant de les remettre en service on a dû les transformer pour leur donner les dimensions légales. La planche XLIX représente les écluses avant cette transformation.

hauteur dès le commencement de la manœuvre ¹. Si on avait voulu écluser successivement un bateau montant et un bateau descendant il aurait fallu 2 h. 45 pour faire passer deux bateaux ; le débit journalier de l'écluse se fût réduit à moins de 18 bateaux en travaillant pendant les 24 heures sans interruption.

En affectant au contraire un jour spécial aux bateaux marchant dans le même sens, on pouvait en engager trois à la fois dans les écluses ; il suffit qu'il y ait un sas vide entre deux sas occupés. L'intervalle de temps entre l'admission de deux bateaux montants successifs était, en moyenne, de 38 minutes, ce qui portait à plus de 37 le nombre total des bateaux qu'il était possible d'écouler en 24 heures de travail continu ; le débit des écluses se trouvait ainsi plus que doublé.

En conséquence, les lundi, mercredi, vendredi et dimanche étaient affectés à la navigation ascendante et les autres jours de la semaine à la navigation descendante. Grâce à ce règlement, il était possible de faire face à un trafic déjà intense, mais certains bateaux étaient exposés à attendre 24 et même 48 heures leur tour de passage et c'est là un inconvénient que l'on peut bien qualifier de grave.

On a fait encore d'autres reproches aux écluses superposées. On a fait observer que les portes et les bajoyers y sont soumis à des efforts plus grands que dans les écluses simples ; et en effet, lorsqu'un sas est vide, celui d'amont étant plein, le couronnement du mur de chute qui les sépare émerge généralement ; la charge que la porte a à supporter est alors égale, non plus seulement à la différence entre les niveaux de l'eau dans les deux sas pleins, à la chute, mais à cette chute augmentée du mouillage sur le busc. L'observation est juste, mais il ne faudrait pas exagérer son importance.

1. Nous avons déjà signalé (page 280) les précautions qu'il faut prendre pour l'éclusage des bateaux montants lorsque les ventelles de la porte d'amont ne sont pas noyées par l'eau du bief d'aval.

On a aussi incriminé les écluses superposées à propos de la consommation énorme d'eau qu'elles exigeraient. C'est là un point sur lequel nous aurons à revenir, mais nous pouvons dire dès maintenant que le reproche ne paraît pas fondé, du moins lorsque le passage se fait par séries de bateaux marchant dans le même sens, suivant des règles analogues à celles qui étaient observées jadis aux Fontinettes.

En somme, le seul reproche sérieux qu'on puisse faire à ces beaux ouvrages est précisément la nécessité d'un règlement de cette nature, qui impose aux bateaux des retards souvent importants. Il est bien évident que cet inconvénient disparaîtrait si on accolait deux échelles d'écluses superposées affectées exclusivement, l'une aux bateaux montants, l'autre aux bateaux descendants.

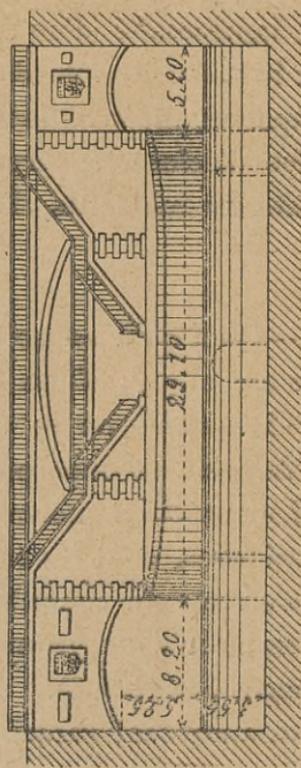
146. Ecluses à grande chute. — Quoi qu'il en soit, on n'hésite plus aujourd'hui à franchir au moyen d'une seule écluse des chutes importantes pour lesquelles on se serait cru obligé, jadis, d'avoir recours à des écluses superposées. Les plus remarquables ouvrages qui aient été, à notre connaissance, construits dans cet ordre d'idées, sont les écluses accolées de 9 m. 92 de chute établies en tête du canal Saint-Denis¹, à Paris, précisément pour remplacer deux groupes de deux écluses chacun² (pl. L et LI, pages 306 et 308).

Les deux écluses, munies de portes à un seul vantail, ont des dimensions inégales en plan ; l'une mesure 5 m. 20 de largeur et 38 m. 85 de longueur utile, l'autre 8 m. 20 de largeur avec une longueur utile de 48 m. 90 ; elles sont séparées par un terre-plein de 29 m. 10 de largeur ; le mouillage sur les buscs est de 3 m. 50.

1. Ecluse n° 4 du canal.

2. On trouvera tous les détails désirables dans une note de M. l'ingénieur Maurice Renaud sur les nouvelles écluses du canal Saint-Denis, note insérée dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, 1893, 2^e semestre, à laquelle nous avons emprunté ce qui suit.

Élévation de la tête aval



Coupe longitudinale par l'axe du grand sas.



Pl. L. ÉCLUSES ACCOLÉES DE 9 m. 92 DE CHUTE DU CANAL SAINT-DENIS

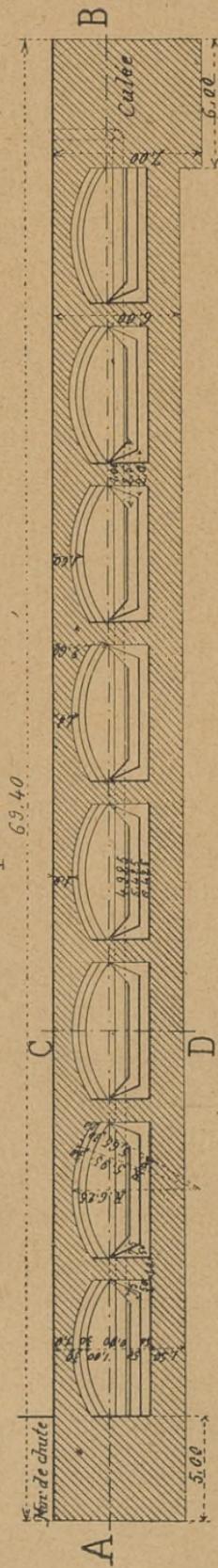
Les portes ne sont pas munies de ventelles à leur partie inférieure ; le remplissage et la vidange des sas se font par des moyens spéciaux ; dès lors on a pu, sans inconvénient, donner au mur de chute la hauteur même de la chute, et la tête d'amont ne présente rien de particulier que la hauteur de ce mur.

A la tête aval, au contraire, les deux bajoyers de chaque écluse sont réunis, à leur partie supérieure, par un masque en maçonnerie laissant au-dessus du niveau de l'eau, dans le bief d'aval, une hauteur libre de 5 m. 25 au minimum, comme il est de règle pour tous les ponts du canal Saint-Denis. Bien que la porte d'aval s'appuie par le haut contre le masque en maçonnerie, sa hauteur a pu être réduite à 40 m. 24 dans le grand sas, tandis qu'autrement elle aurait dépassé 44 mètres. De plus, quand elle est fermée, elle est soutenue sur ses quatre côtés ; elle se trouve donc dans d'excellentes conditions de résistance.

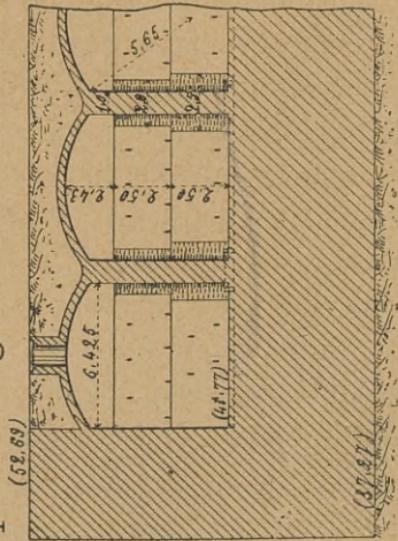
Il convient encore de signaler, dans ce remarquable ouvrage, le mode de construction du bajoyer de rive ; la planche LI en montre tous les détails pour le grand sas.

Ce bajoyer, dont la hauteur au-dessus des fondations n'est pas inférieure à 43 m. 92, est soumis, du côté du sas, à une pression horizontale de l'eau qui varie, par mètre courant, de 6 tonnes, en nombre rond, quand l'écluse est vide, à 90 tonnes environ, quand elle est pleine. Du côté de la rive, il est soumis à la poussée des terres qui est relativement faible quand ces terres sont sèches, mais qui peut devenir considérable quand elles sont mouillées, ce qui se produit nécessairement au moment des éclusages. En effet, lors du remplissage de l'écluse, l'eau traverse les maçonneries, vient mouiller les terres derrière le bajoyer et y reste quand on vide l'écluse. Donc, à moins de donner au mur une largeur considérable à la base, si on fait ce mur plein, résistant seulement par son propre poids, quand l'écluse est pleine, la résultante du poids du mur et des forces horizontales dues tant à la pression de

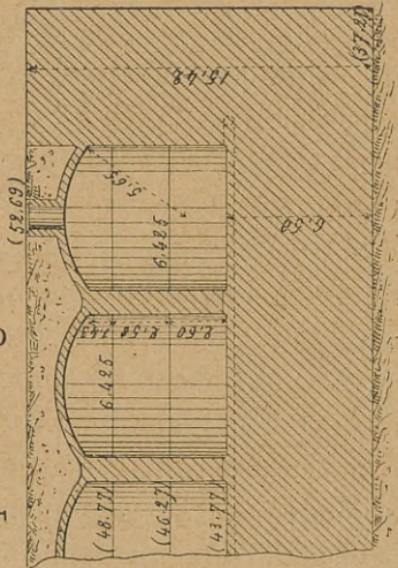
Coupe horizontale



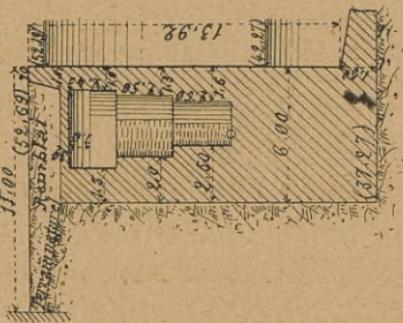
Coupe AB en regardant du côté des terres.



Coupe AB en regardant du côté du sas.



Coupe CD.



l'eau qu'à la poussée des terres, vient passer assez près de l'arête extérieure du mur ; l'écluse vide, au contraire, cette même résultante vient passer assez près du bord intérieur ; il en résulte qu'à chaque éclusée et, par suite, dans un temps assez court, le sol de fondation est alternativement, fortement comprimé dans des parties différentes. Si donc le sol de fondation est un peu compressible, il est à craindre qu'un léger tassement ne se produise et ce, alternativement, à droite et à gauche de l'axe du mur. Ce tassement se révèlerait par une oscillation du mur, oscillation des plus dangereuses, car elle est une cause de ruine pour la maçonnerie. Si on ajoute que le parement antérieur du bajoyer se trouve à 11 mètres du mur des propriétés avoisinantes et qu'on ne pouvait songer à s'approcher trop près du dit mur, on aura une idée des difficultés multiples que présentait la construction de ce bajoyer. Voici la solution qui a été adoptée.

Le bajoyer a une épaisseur uniforme de 6 mètres qui représente les 0,43 de sa hauteur de 13 m. 92 au-dessus des fondations. La fouille à faire étant entièrement dans un sol assez résistant, susceptible de supporter de 3 à 4 kilogrammes par centimètre carré, on a cherché à reporter directement une partie de la pression horizontale sur les terres. A cet effet, la fouille a été ouverte avec un parement absolument vertical et à 6 mètres en arrière de celui du bajoyer. Les terres ont été fortement maintenues pour éviter tout mouvement et elles ont toujours été rigoureusement bloquées au fur et à mesure que la maçonnerie montait.

Le bajoyer est entièrement plein jusqu'à 4 m. 50 en contre-haut du plan d'eau d'aval, mais à partir de ce point il a été décomposé en deux parties. Du côté des terres on a construit un mur de soutènement muni de barbicanes comme un mur ordinaire ; puis, du côté du sas, on est venu appuyer contre ce mur de soutènement, formant pour ainsi dire radier de fondation, une sorte de viaduc renversé formé par des voûtes à génératrices verticales résistant à la pression de l'eau du

sas et reportant latéralement, par l'intermédiaire de piles, les poussées sur le mur de soutènement et, par suite, sur les terres. On remarquera que les voûtes, du côté du sas, sont renforcées et l'empâtement des piles augmenté au fur et à mesure que la pression de l'eau augmente. Le système se complète par deux fortes culées pleines établies, l'une au droit du mur de chute, l'autre au droit du masque formant pont au-dessus de la porte d'aval. De plus, toutes les piles de ces voûtes et la culée d'aval sont percées d'un orifice permettant à l'eau venant du sas de l'écluse à travers la maçonnerie, ou provenant des barbicanes du mur de soutènement, de s'écouler à l'aval. Enfin les vides ainsi ouverts dans le bajoyer sont couverts par des voûtes à génératrices horizontales s'appuyant sur les mêmes piliers et sur les mêmes culées. Sur ces voûtes est établi le chemin de halage.

Ces dispositions parent aux difficultés que nous avons signalées plus haut. L'écluse vide, le bajoyer, sur la plus grande partie de la hauteur (sauf sur la hauteur de la partie pleine) forme mur de soutènement dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire ayant derrière lui de la terre asséchée. L'écluse pleine, cette terre reste préservée des infiltrations qui peuvent se produire à travers la maçonnerie, tandis que la plus grande partie de la poussée horizontale se transmet directement au sol latéral et non au sol de fondation.

Les écluses de tête du canal Saint-Denis sont, croyons-nous, à l'heure actuelle, les écluses de navigation intérieure qui présentent le maximum de hauteur de chute ; mais il n'y a aucune raison de penser que cette hauteur ne sera pas dépassée. Le projet d'une écluse de 20 mètres de chute, resté il est vrai à l'état d'étude spéculative, a été présenté, il y a quelques années, par M. l'ingénieur en chef des Ponts et Chaussées Fontaine.

§ 4

DISPOSITIONS SPÉCIALES EN VUE DU REMPLISSAGE
ET DE LA VIDANGE DU SAS**147. Aqueducs ménagés dans les têtes d'écluse. —**

A l'heure qu'il est, le remplissage et la vidange du sas s'effectuent encore le plus généralement au moyen de ventelles placées dans la partie inférieure des vantaux des portes ; mais pour accélérer ces manœuvres, ce qui est important sur les voies très fréquentées, on a été conduit à adopter d'autres procédés, dont l'application exige que les maçonneries des écluses présentent des dispositions spéciales. Il y a, par conséquent, lieu d'en parler ici.

Aux écluses de la Haute Seine, on a ménagé dans les têtes, de chaque côté, un aqueduc qui prend naissance dans l'enclave et débouche à l'aval du chardonnet, lequel se trouve ainsi contourné (fig. 66). L'aqueduc présente une section de

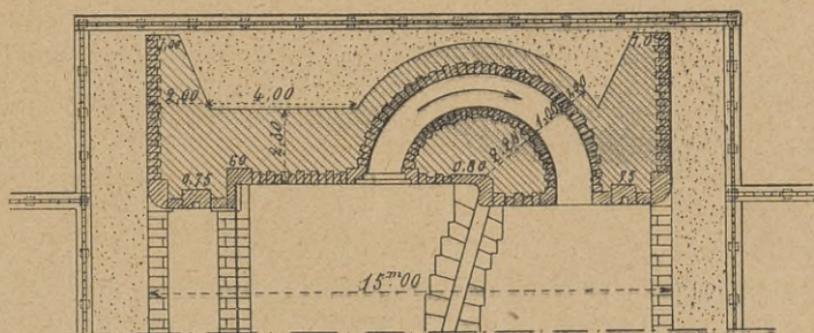


Fig. 66

1 mètre de largeur sur 4 mètre de hauteur, avec voûte en arc de cercle surbaissée à 1/10. Une vanne manœuvrée du sommet du bajoyer permet d'établir ou d'interrompre, à volonté, la communication entre l'amont et l'aval. Malgré la précaution

de faire déboucher en face l'un de l'autre les deux aqueducs d'une même tête, la violence des courants provoque une agitation de l'eau qui peut gêner les bateaux montants, lors du remplissage.

On a atténué cet inconvénient en faisant déboucher les aqueducs de remplissage dans la paroi verticale du mur de chute. A l'écluse de Frouard, par exemple, les eaux suivent une conduite de 0 m. 70 de diamètre contournée deux fois à angle droit et arrivent au sas dans l'axe même de l'écluse (fig. 67). Le courant frappe alors le bateau dans le sens de

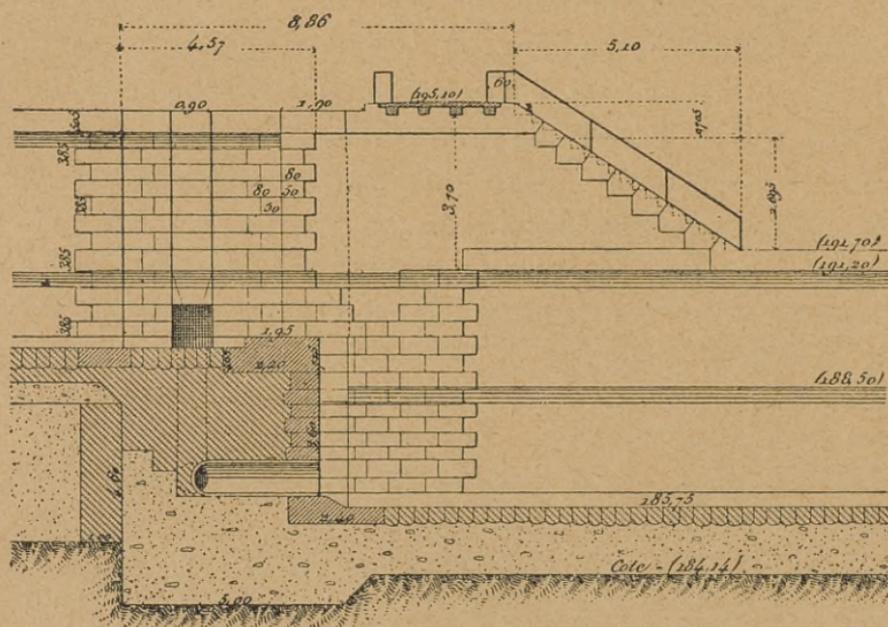


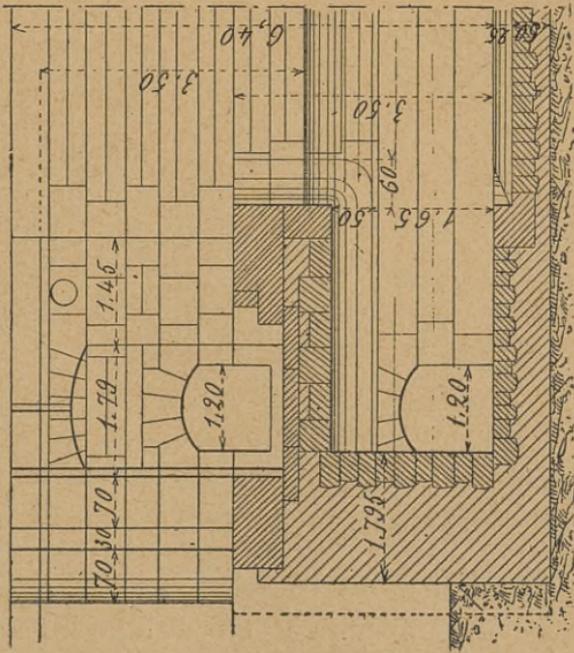
Fig. 67

son amarrage et se perd mieux dans la longueur de l'écluse.

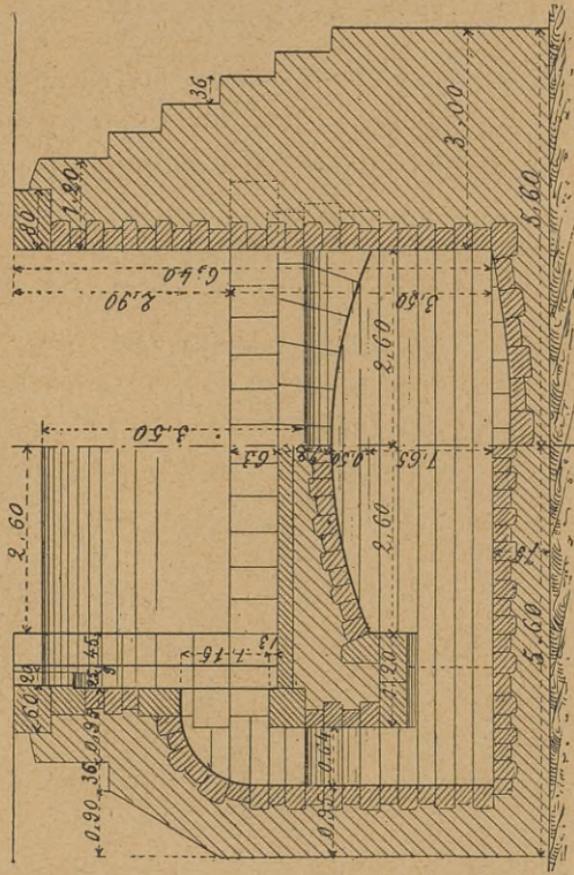
Aux écluses du versant de la Marne du canal de la Marne à la Saône ¹, le mur de chute est formé par la tête d'une voûte surbaissée qui se prolonge sous le radier de la chambre de la porte d'amont (pl. LII). Les aqueducs de remplissage du sas

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1899, 4^e trimestre, mémoire de M. l'ingénieur en chef Gustave Cadart sur le canal de la Marne à la Saône.

COUPE LONGITUDINALE



COUPES TRANSVERSALES



Pl. LII. ÉCLUSE DU CANAL DE LA MARNE A LA SAONE. — AQUEDUCS DE REMPLISSAGE

sont des puits verticaux creusés dans les bajoyers de cette même chambre, qui viennent déboucher l'un en face de l'autre, sous la voûte. Les remous formés par la rencontre des deux courants se produisent ainsi en dehors du sas renfermant le bateau et ne peuvent gêner ce dernier.

148. Vannes cylindriques. — On a encore amélioré la solution en faisant courir, tout le long des bajoyers, des aqueducs qui débouchent dans le sas par plusieurs orifices répartis sur la longueur. On a ainsi réparti l'écoulement de l'eau entre des issues multiples et obtenu moins d'agitation. Mais avant d'entrer dans le détail de cette combinaison, il est indispensable de faire connaître un type spécial de vannes, dites *vannes cylindriques*, dont elle comporte l'emploi.

Dans les ouvrages cités jusqu'ici comme exemples, les vannes qui commandent les aqueducs sont généralement des vannes glissantes. La pression de l'eau sur ces vannes donne lieu à un frottement considérable ; la manœuvre exige, par suite, un effort violent surtout au début. Cet inconvénient est évité avec les vannes cylindriques ; voici en quoi elles consistent essentiellement.

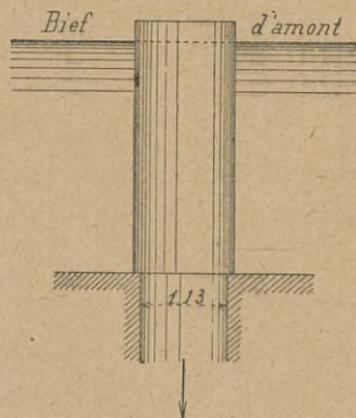


Fig. 68

Supposons un puits qui, dans sa partie inférieure, est mis, par un aqueduc, en communication avec le bief d'aval et dont l'orifice supérieur, horizontal, circulaire, s'ouvre dans une chambre qui communique librement avec le bief d'amont.

Sur l'orifice du puits repose, à joint hermétique, un cylindre en tôle, ouvert aux deux bouts, dont le sommet dépasse un peu le niveau du bief d'amont (fig. 68) ; la communication d'un bief à l'autre est interceptée ; la vanne est fermée. Si on lève le cylindre creux, on découvre l'orifice

circulaire du puits ; on met en communication les deux biefs ; la vanne est ouverte.

Telle est la *vanne cylindrique haute* ; par rapport aux autres systèmes de vannes, elle présente trois avantages importants :

1° Pour la lever, il y a seulement à vaincre son poids propre et des frottements d'eau sur fer ; elle ne supporte aucune pression de l'eau qui ne soit détruite par une pression égale et opposée ;

2° Pour utiliser toute la section de l'orifice de rayon r , il suffit de lever la vanne cylindrique d'une hauteur $h = \frac{r}{2}$, car le débouché périmétrique, ainsi obtenu sous la vanne, $2\pi rh$, est alors égal à πr^2 ;

3° On a, sur un orifice de section donnée, une plus forte charge que quand cet orifice est pris dans un plan vertical. Pour une ouverture rectangulaire de 4 m. de hauteur et de 4 m. de largeur, par exemple, pratiquée verticalement dans le bajoyer, la hauteur d'eau sur le seuil étant de 2 m. 85, la charge est de $2 \text{ m. } 85 - \frac{1,00}{2} = 2 \text{ m. } 35$. Avec la vanne cylindrique, pour la même section de 4 m², mais prise horizontalement, et qui correspond à un diamètre de 1 m. 13, la charge est de $2 \text{ m. } 85 - \frac{1,13}{8} = 2 \text{ m. } 71$.

C'est en 1881 que MM. les ingénieurs du canal du Centre ont établi leur première vanne haute, sur ce canal, en s'inspirant des installations faites dès 1868 par M. de Caligny, à l'écluse de l'Aubois, sur le canal latéral à la Loire. Il convient d'ajouter que des vannes cylindriques hautes étaient installées aux écluses de la rivière Weaver, en Angleterre, quand nous les avons visitées, en 1878.

La *vanne cylindrique basse* dérive de la précédente. Le cylindre mobile n'a plus qu'une hauteur de très peu supérieure à la *levée* nécessaire pour démasquer complètement l'orifice du puits ; mais quand il est soulevé, il rentre, en glis-

sant d'un mouvement télescopique, dans un cylindre fixe, de hauteur à peu près égale et convenablement disposé à cet effet. La partie supérieure du cylindre fixe porte un couvercle surmonté d'un tuyau dans lequel passe la tige de manœuvre de la vanne et qui s'élève au-dessus du niveau du bief d'amont (fig. 69).

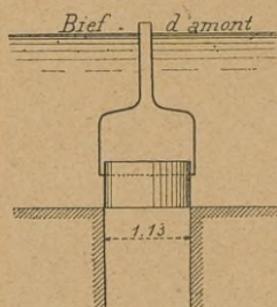


Fig. 69

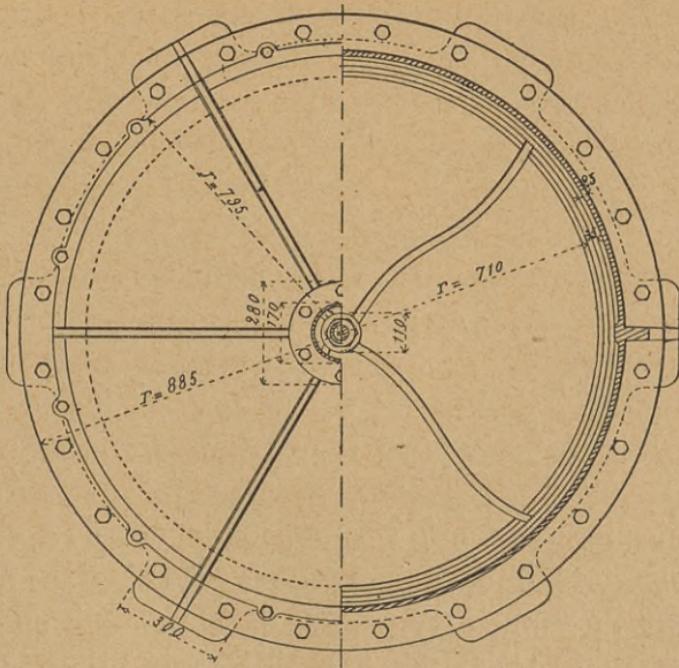
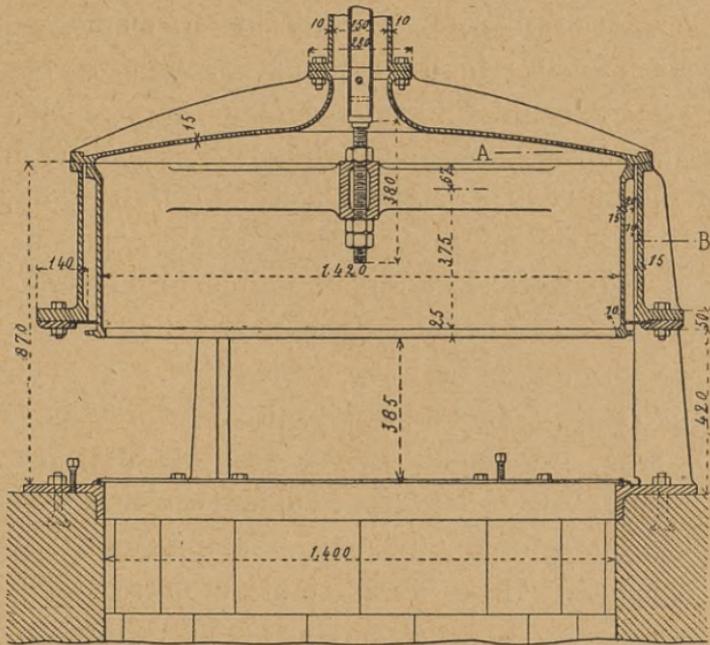
La pression verticale de l'eau est supportée par le couvercle ; la partie mobile ne reçoit que des pressions latérales qui se font équilibre. On a donc à soulever seulement le poids propre de la vanne ; celle-ci rentre dans la partie fixe et dégage ou ferme le vide qui existe, sur tout le pourtour de cette partie, entre l'orifice du puits et le cylindre supérieur.

Les premières vannes cylindriques basses, imaginées par M. le sous-ingénieur Moraillon, ont été essayées en 1884. Le succès a été complet. Voici, en quelques mots, comment elles sont installées ; le lecteur désireux d'avoir plus de détails pourra consulter l'article publié par M. l'ingénieur en chef Fontaine dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, 1886, 2 semestre.

Chaque vanne comprend, ainsi que nous l'avons expliqué, une partie fixe et une partie mobile (planche LIII).

La partie fixe se compose : 1° d'un siège de 1 m. 40 de diamètre intérieur, encastré et scellé dans la maçonnerie et portant trois montants en forme de nervure reliés par une couronne supérieure ; 2° d'un cylindre creux fixé sur la couronne, recevant la vanne quand celle-ci est levée ; 3° d'un couvercle percé au centre d'un orifice de 0 m. 15 de diamètre et 4° d'un tuyau, pour le passage de la tige de manœuvre et pour le dégagement de l'air, surmontant cet orifice. Le siège est posé avec une horizontalité parfaite au moyen de trois vis de réglage scellées ensuite au ciment.

COUPE VERTICALE (VANNE OUVERTE).



PLAN A DIVERSES HAUTEURS

La partie mobile est une couronne en fonte, ou mieux en tôle d'acier avec frettes en fer, de 0 m. 467 de hauteur et de 1 m. 42 de diamètre intérieur, manœuvrée au moyen d'une tige et d'un cric. Elle glisse dans la partie fixe et dégage ou ferme le vide entre le siège et le cylindre supérieur.

Comme nous l'avons déjà dit, la pression verticale de l'eau est supportée par le couvercle fixe ; la partie mobile ne reçoit que des pressions latérales qui se font équilibre. On a donc seulement à soulever le poids propre de la vanne, soit environ 370 kilogrammes. La levée est de 0 m. 385, la durée de la manœuvre de douze à treize secondes, l'effort nécessaire de 7 kilogrammes seulement. Les vannes d'aval fonctionnent aussi facilement sous une chute de 5 m. 20 que celles d'amont sous une chute de 2 m. 60, et il en serait de même, quelle que fût la hauteur, toute charge étant supprimée.

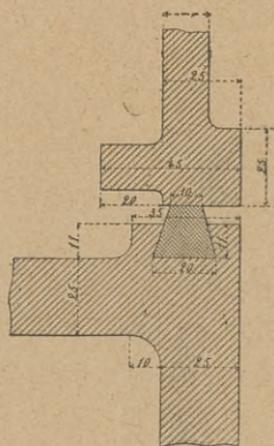


Fig. 70

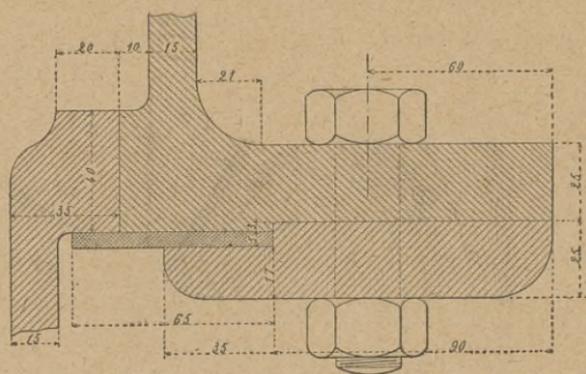


Fig. 71

La vanne fermée repose sur un petit boudin en caoutchouc engagé dans une rainure du siège (fig. 70). L'étanchéité du joint supérieur est assurée par une bande de cuir qu'y applique la pression de l'eau (fig. 71).

Très habilement installée et employée partout au canal du Centre à la suite des premiers essais, la vanne cylindrique

basse est d'un excellent usage. Elle a été appliquée depuis à un très grand nombre d'écluses.

Elle figurait dans les projets présentés pour la construction de grandes écluses de 11 mètres de chute, au canal de Panama. Elle paraît susceptible d'applications nombreuses et variées.

149. Aqueducs latéraux régnant sur toute la longueur du sas. — Nous pouvons maintenant revenir à la combinaison qui comporte des aqueducs prolongés sur toute la longueur des bajoyers, et il est naturel de prendre pour exemple une écluse du canal du Centre. La planche LIII, page 320, représente un des bajoyers d'une de ces écluses ; l'autre bajoyer est disposé identiquement de la même manière.

Dans le bajoyer de l'enclave d'amont est pratiqué un puits carré de 2 m. 30 de côté, dont le fond est au niveau du radier de la chambre de la porte, et qui communique librement avec cette chambre par une baie en plein cintre de 2 m. 30 de large sur 2 m. 55 de haut.

Dans le fond du puits carré débouche un puits vertical circulaire de 1 m. 40 de diamètre, dont l'orifice est surmonté d'une vanne cylindrique basse. Par sa partie inférieure, le puits circulaire est en communication avec une galerie voûtée en plein cintre de 1 m. 70 de hauteur sur 1 m. de largeur, régnant sur toute la longueur du sas. Cette galerie communique avec le sas par quatre orifices rectangulaires¹ ayant leur seuil au niveau du radier ; puis, un peu avant d'arriver à la chambre de la porte d'aval, elle se relève pour déboucher, au niveau du fond, dans un puits rectangulaire ménagé dans le bajoyer de l'enclave mais dépourvu de toute communication avec la chambre de la porte. Dans le fond de ce puits carré, à

1. Considérés en allant de l'amont vers l'aval, ces orifices présentent respectivement : en largeur, 0 m. 60, 0 m. 80, 0 m. 80 et 0 m. 60 ; en hauteur, 0 m. 80, 1 m., 0 m. 80 et 0 m. 80.

0 m. 65 au-dessous du plan d'eau d'aval, s'ouvre un orifice circulaire de 1 m. 40 de diamètre surmonté d'une vanne cylindrique basse et donnant accès à une galerie dallée ouverte au niveau du radier. Cette dernière se contourne en quart de cercle et débouche dans le mur de fuite, vers le milieu de sa longueur, par une baie rectangulaire de 1 m. 10 de large sur 2 mètres de haut.

Supposons que l'on veuille remplir le sas vide ; toutes les vannes sont fermées ; on ouvre celles d'amont. L'eau du bief d'amont, qui communique librement avec chaque puits carré d'amont, se précipite, par l'orifice annulaire ainsi démasqué, dans le puits circulaire, de là dans la galerie longitudinale et finalement dans le sas par les quatre orifices rectangulaires.

Veut-on vider le sas plein, on ferme les vannes d'amont et on lève celles d'aval ; l'eau du sas passe par les orifices rectangulaires dans la galerie longitudinale correspondante, de celle-ci dans le puits carré d'aval, puis par l'ouverture de la vanne cylindrique dans la galerie qui débouche au milieu du mur de fuite, et finalement dans le bief d'aval.

Le puits circulaire de 1 m. 40 de diamètre a une section de 1 m² 54 ; la levée de la vanne étant de 0 m. 385, l'orifice annulaire démasqué a une surface de 1 m² 69 un peu supérieure. La galerie longitudinale à la suite du puits a une section de 1 m² 59 ; la surface des quatre orifices ensemble est de 2 m² 40 ; tout est donc disposé pour faciliter le mouvement de l'eau¹, et de fait les manœuvres se font avec une extrême rapidité.

Le remplissage du sas, sur une hauteur de 5 m. 20, se fait en 3 minutes 10 secondes (ce qui correspond à une vitesse ascensionnelle moyenne de $\frac{5 \text{ m. } 20}{190} = 0 \text{ m. } 027$ par seconde), la vidange en 3 minutes 15 secondes ; et cependant on ne

1. Lors du remplissage, ce mouvement se continue en vertu de la vitesse acquise après que le sas est plein ; le niveau de l'eau dans le sas se surélève ; les portes d'amont s'entrouvrent, et on n'a plus qu'à achever leur manœuvre. L'équilibre s'établit par une série d'oscillations, mais la première n'a pas moins suffi pour vaincre la résistance initiale des vantaux.

peut constater aucun mouvement d'eau tumultueux préjudiciable aux bateaux ; ceux-ci s'élèvent ou descendent sans secousses. Ce remarquable résultat tient sans doute en partie à ce que les émissions d'eau, étant directement opposées les unes aux autres, neutralisent en partie leurs effets, mais surtout à ce que ces émissions se font au-dessous du fond des bateaux. Les orifices d'émission ont leur seuil au niveau du radier ; trois sur quatre ont 0 m. 80 de hauteur, leur linteau est donc à 1 m. 80 au-dessous du plan d'eau d'aval, c'est-à-dire précisément au niveau du fond des bateaux chargés au maximum d'enfoncement.

L'emploi des aqueducs latéraux régnant sur toute la longueur du sas, combiné avec celui des vannes cylindriques, assure dans les meilleures conditions possibles les manœuvres de remplissage et de vidange.

Les appréhensions qu'avaient pu faire naître les premiers essais tentés en vue d'accélérer ces manœuvres par l'emploi d'aqueducs établis dans les maçonneries des écluses n'ont plus de raison d'être. Une expérience de près de vingt années a démontré la parfaite sécurité que garantissent les dispositions appliquées sur le canal du Centre. Et, au point de vue de la rapidité, il semble qu'il n'y ait pas grand intérêt à aller plus loin. En procédant à une analyse détaillée des diverses opérations successives que comporte l'éclusage d'un bateau, nous verrons, un peu plus loin, que le remplissage et la vidange du sas ne prennent que la moindre partie de la durée totale. Il n'y aurait pas d'avantage sérieux à les accélérer davantage, et c'est même seulement sur les voies de navigation très fréquentées qu'il y a un réel intérêt à les accélérer autant. Comme, d'ailleurs, l'installation des aqueducs latéraux avec toutes les dispositions annexes ne laisse pas d'être coûteuse, elle n'est vraiment justifiée que sur les voies à grande fréquentation.

150. Emploi de siphons pour le remplissage et la vidange des sas. — Aux écluses du nouveau canal de l'Elbe

à la Trave, construit de 1896 à 1900, en Allemagne, le remplissage et la vidange se font aussi au moyen d'aqueducs latéraux régnant sur toute la longueur des bajoyers ; mais au lieu d'être fermés par des vannes, ces aqueducs se terminent, tant à l'aval qu'à l'amont, par des siphons ¹, dont le seuil est exactement au niveau de l'eau du bief supérieur.

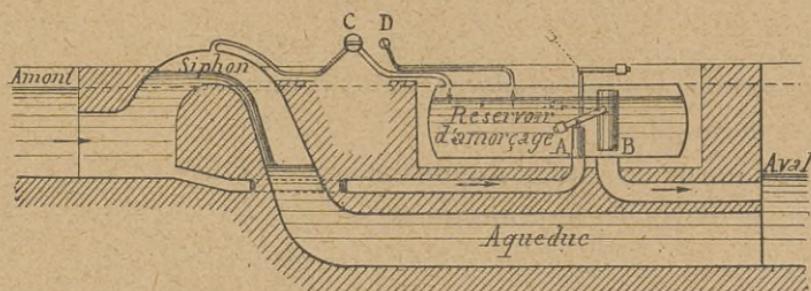


Fig. 72

Un *réservoir d'amorçage*, récipient cylindrique horizontal en fer forgé, ayant sa génératrice supérieure au niveau de la retenue d'amont, et offrant un volume supérieur à celui de l'air contenu dans les différents siphons susceptibles de fonctionner simultanément, est logé dans l'un des bajoyers. Ce réservoir est relié par des tuyaux à eau avec les deux biefs et, par des tuyaux à air, avec l'air libre et avec les sommets des différents siphons. Tuyaux à eau et tuyaux à air sont ouverts ou fermés, à volonté, au moyen de soupapes et de robinets susceptibles d'être manœuvrés du même point, de telle sorte qu'un homme peut, à l'aide du réservoir d'amorçage, en réglant convenablement le jeu des soupapes et des robinets, mettre en action tels ou tels groupes de siphons et déterminer, par suite, le remplissage ou la vidange du sas.

La figure 72 ci-dessus donne un schéma du réservoir

1. Les renseignements qui suivent sont empruntés au rapport de M. l'inspecteur général de Dartein sur les travaux publics en Allemagne (*Exposition universelle internationale de 1900 à Paris. — Rapport du jury international. — Classe 29: Modèles, plans et dessins de travaux publics*). On peut aussi consulter un article inséré dans le *Génie Civil* du 13 octobre 1900, tome XXXVII, n° 24.

d'amorçage et permet d'en faire aisément comprendre le fonctionnement. Supposons le sas vide et le réservoir d'amorçage plein ; on veut remplir le sas. A cet effet, on tiendra fermés le robinet D du tube à l'air libre et la soupape A du tuyau de communication du réservoir d'amorçage avec le bief supérieur. La soupape B établissant la communication avec le bief inférieur et le robinet C seront ouverts. Par suite, le réservoir d'amorçage se videra d'eau ; l'air occupant le coude du siphon se trouvera aspiré, celui-ci entrera en fonction et le sas se remplira.

Une disposition très importante que la figure 72 fait bien ressortir est la diminution de la section du siphon à la tête. Par suite de ce rétrécissement, il se produit en ce point, lors de l'écoulement de l'eau, une diminution de pression, si bien, qu'à son tour, le siphon aspire l'air contenu dans le réservoir d'amorçage et que celui-ci se remplit automatiquement d'eau venant par le tuyau de communication avec le bief d'aval. Le réservoir se trouve ainsi prêt à amorcer un autre siphon, et on voit qu'on n'a besoin de le remplir avec de l'eau d'amont qu'au moment de la mise en train après de longs arrêts de fonctionnement, ou bien pour compenser les fuites qui peuvent se produire.

Cet ingénieux dispositif a été imaginé par M. le professeur Hottop qui, lors de la construction du canal de l'Elbe à la Trave, était attaché à la direction des travaux, en qualité d'inspecteur des travaux hydrauliques.

CHAPITRE VIII

PORTES D'ÉCLUSE

§ 1

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

151. Définitions. — Chaque tête d'une écluse à sas est munie d'une porte, qui peut être *busquée* ou *non busquée*.

Dans le premier cas, la porte se compose de deux vantaux mobiles, respectivement, autour d'un axe vertical. Quand elle est fermée, les vantaux s'appuient latéralement sur les chardonnets et du bas sur le busc, tandis que, dans l'axe de l'écluse, ils butent l'un contre l'autre. Cette disposition est encore, de beaucoup, la plus usitée, du moins dans notre pays.

Dans le second cas, la porte se compose, le plus souvent, d'un vantail unique, mobile autour d'un axe vertical ou d'un axe horizontal. Quand elle est fermée, le vantail s'appuie des deux côtés sur les chardonnets et du bas sur le busc, si l'on peut encore appliquer ces dénominations à de simples feuillures verticales et horizontales. Les applications de ce dispositif se font de jour en jour plus nombreuses ; parmi les écluses à sas que nous avons eu occasion de citer dans le chapitre précédent, celles de la dérivation de la Scarpe autour de Douai et du canal Saint-Denis à Paris en fournissent des exemples.

Tout vantail se compose d'une *ossature* et d'un *bordage*

destinés, la première à fournir la résistance, le second à réaliser l'étanchéité.

L'ossature comporte nécessairement un cadre rectangulaire formé de deux montants verticaux et de deux traverses horizontales. Dans le cas d'un vantail busqué, le montant du côté de l'axe de rotation prend le nom de *poteau tourillon* et le montant opposé celui de *poteau busqué*; les deux traverses constituent respectivement l'*entretoise supérieure* et l'*entretoise inférieure*.

La distance qui sépare les différents côtés du cadre est trop grande pour que le bordage puisse la franchir d'une seule portée; des pièces intermédiaires sont indispensables, tant pour le soutenir que pour compléter une ossature suffisamment solide. Les unes relient deux côtés opposés du cadre, ce sont les *entretoises intermédiaires* qui peuvent être horizontales ou verticales; d'autres, comme le *bracon*, réunissent deux côtés contigus dudit cadre.

152. Classification. — L'ossature et le bordage peuvent être tous les deux en bois; on se trouve en présence d'une *porte en bois*.

L'ossature et le bordage peuvent être l'une et l'autre en métal; il s'agit, en ce cas, d'une *porte métallique*.

L'ossature peut être en métal et le bordage en bois; la porte est alors une *porte mixte*.

Le nom de porte mixte pourrait tout aussi bien s'appliquer au cas où l'ossature serait en bois et le bordage en métal et, pour tout dire, il faut mentionner ici un essai de cette combinaison qui aurait été fait jadis sur le canal de la Marne au Rhin. *A priori*, il semble peu logique de faire dans un ouvrage l'*accessoire* plus durable que le *principal*; et l'on doit penser que l'expérience a été sur ce point d'accord avec le raisonnement. Ce système ne s'est pas répandu et l'application mentionnée ci-dessus ne constitue plus maintenant qu'un souvenir historique. Ces portes avec ossature en bois et bordage en

métal ont été démolies et remplacées par d'autres entièrement en bois; nous n'en parlons, en passant, que pour mémoire.

153. Nature et importance des efforts auxquels sont soumis les vantaux des portes d'écluse. — Les vantaux des portes d'écluse sont soumis à des efforts de nature et d'importance fort différentes :

1^o Quand la porte est fermée et en charge, elle supporte la pression de l'eau. Soient l la largeur totale d'un vantail, p et q les hauteurs respectives de l'eau d'amont et de l'eau d'aval au-dessus de l'arête inférieure, la pression normale au plan de ce vantail, exprimée en tonnes de 1.000 kilogrammes,

$$Q = l \frac{p^2 - q^2}{2}.$$

2^o Quand la porte est fermée et en charge, s'il s'agit d'une porte busquée, chaque vantail est, en outre, soumis, dans son plan, suivant sa largeur, à un effort de compression résultant de la réaction du vantail opposé. Si on appelle L la largeur de l'écluse et f la flèche du busc, la compression totale due au buscage

$$C = \frac{Q}{4} \frac{L}{f}.$$

3^o Quand la porte est fermée et en charge, la sous-pression qui s'exerce de bas en haut sur la face inférieure de chaque

1. Voir la note au bas de la page 282.

2. Dans la note au bas de la page 282 on démontre que, si on appelle α l'angle que fait le busc avec la normale à l'axe de l'écluse, la réaction d'un vantail sur l'autre est égale à $\frac{Q}{2 \sin \alpha}$ et fait un angle α avec la direction du vantail. La compression suivant la largeur du vantail est précisément égale à la projection sur cette direction de la réaction N ; on a donc :

$$C = N \cos \alpha = \frac{Q \cos \alpha}{2 \sin \alpha}$$

et, comme

$$\text{tang } \alpha = \frac{2f}{L},$$

$$C = \frac{Q L}{4f}.$$

vantail tend à le soulever et à le déformer dans son plan. Dans les portes des écluses de navigation intérieure, cet effort est généralement sans importance, à raison des faibles dimensions en plan des vantaux.

4° Quand la porte est ouverte, le poids de chaque vantail qui le sollicite de haut en bas, tend à le déformer dans son plan, à transformer le rectangle du cadre en parallélogramme, à lui faire *donner du nez* suivant l'expression consacrée dans la pratique. C'est peut-être l'accident le plus fréquent que l'on ait à constater dans l'entretien des portes d'écluse.

5° Enfin, lors des manœuvres d'ouverture et de fermeture des portes, les vantaux sont soumis, alternativement dans un sens et dans l'autre, à des efforts de torsion résultant de l'inertie de l'eau dans laquelle ils plongent par leur partie inférieure et de l'application en un point de leur partie supérieure de la force destinée à vaincre cette inertie ; ces efforts tendent à les gauchir.

La matière doit être distribuée dans les vantaux de manière à réaliser les meilleures conditions de résistance aux différents efforts énumérés ci-dessus et plus particulièrement à la pression de l'eau lorsque les portes sont fermées et en charge. La question est délicate et soulève des problèmes de résistance des matériaux dans le détail desquels nous ne pouvons entrer, tant pour ne pas excéder les limites de ce cours que pour lui conserver son caractère descriptif. Nous nous bornerons à quelques considérations et indications sommaires.

154. Vantail considéré comme composé d'éléments horizontaux. — Lorsqu'un vantail est plus haut que large, il paraît logique de disposer les pièces intermédiaires dans le sens de la moindre dimension, d'adopter des entretoises horizontales. On peut alors le considérer comme composé d'éléments horizontaux *superposés* et *indépendants*, l'assimiler, pour ainsi dire, à un rideau de poutrelles. Si on suppose que l'eau d'amont affleure le dessus du vantail et qu'il n'y a pas d'eau à l'aval, ce qui

constitue évidemment un cas extrêmement défavorable, chacun des éléments considérés supportera une pression égale au poids d'un prisme d'eau ayant pour base sa face d'amont et pour hauteur la distance qui sépare son centre de figure du sommet du vantail. La pression sur un élément ab du vantail AB (fig. 73) sera représentée par la surface du trapèze $ad'b'b$ dont les bases ad' , bb' sont respectivement égales à Aa et Ab .

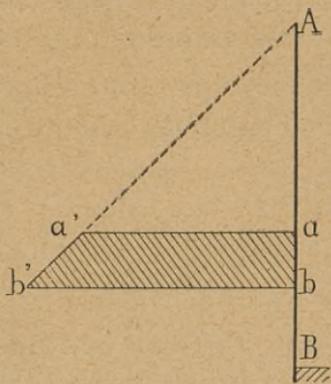


Fig. 73

Si on désire, et c'est généralement le cas dans l'intérêt de la facilité et de la simplicité de la construction, si on désire employer des entretoises

de même section transversale et, par conséquent, de même force, on est conduit à les distribuer de telle manière que l'élément de bordage de hauteur variable, supposé soutenu exclusivement par chacune d'elles, supporte une même pression; on est conduit à les distribuer suivant une loi d'écartement inversement proportionnelle à la pression de l'eau. On trouve de nombreux exemples de cette disposition.

Elle suppose, en somme, que le bordage n'a d'autre effet que de transmettre aux entretoises la pression attribuée à chacune d'après certaines considérations géométriques, sans établir aucune solidarité entre elles. Or, il en est tout autrement, et le bordage n'est pas seul à solidariser les diverses entretoises; le poteau tourillon et le poteau busqué, les pièces inclinées comme le bracon y contribuent également. D'autre part, l'entretoise inférieure s'appuie sur le busc qui s'oppose à tout déplacement et à toute déformation du bas du vantail; la pression de l'eau sur les pièces inférieures, plus forte que sur les pièces supérieures, est donc, en partie du moins, reportée sur ces dernières et cela, d'autant plus que le vantail présente plus de raideur dans le sens vertical.

Il y a plus de cinquante ans déjà, après avoir étudié la

question expérimentalement et analytiquement, M. l'Inspecteur général Chevallier ¹ était arrivé à cette conclusion que, dans un vantail de raideur moyenne, si l'on se sert d'entretoises de force égale, il vaut mieux, au point de vue de la résistance, les espacer également que les disposer suivant une loi d'écartement inversement proportionnelle à la pression exercée par l'eau. On trouve également de nombreux exemples de portes dans les vantaux desquelles les entretoises sont équidistantes.

Depuis les recherches de M. Chevallier, cette question de l'écartement des entretoises et du calcul des dimensions à leur donner a fait l'objet de nombreux et importants travaux. Nous citerons en particulier les mémoires publiés dans les *Annales des Ponts et Chaussées* par MM. les ingénieurs en chef Lavoigne ², Galliot ³ et Cadart ⁴.

155. Vantail considéré comme composé d'éléments verticaux. — Lorsque, contrairement au cas précédent, le vantail est plus large que haut, la logique conseille l'adoption d'entretoises verticales. On peut alors le considérer comme composé d'éléments verticaux *juxtaposés* et *indépendants*, l'assimiler, en quelque sorte à un rideau d'aiguilles. Si on suppose, comme nous l'avons déjà fait plus haut, que l'eau d'amont affleure le dessus du vantail et qu'il n'y a pas d'eau à l'aval, on voit que l'entretoise supérieure supporte, uniformément répartie sur sa longueur, une charge égale au tiers de la pression totale de l'eau sur le vantail, les deux autres tiers étant reportés sur l'entretoise inférieure, soit sur le busc. Les dimensions de l'entretoise supérieure peuvent être déterminées d'après cette condition, en tenant compte en outre, bien entendu, de l'effort de compression résultant de la réac-

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1850, 1^{er} semestre.

2. 1867, 1^{er} semestre.

3. 1887, 2^e semestre.

4. 1900, 3^e trimestre.

tion du vantail opposé s'il s'agit d'une porte busquée. Les entretoises verticales seront calculées comme des aiguilles ; elles devront d'ailleurs être assez rapprochées ou réunies par des pièces intermédiaires assez rapprochées pour fournir au bordage les appuis nécessaires.

156. Expériences de M. Guillemain. — M. l'inspecteur général Guillemain a procédé à des expériences dans le but de déterminer directement, en dehors de toute hypothèse, les efforts qui résultent de la pression de l'eau pour l'ensemble d'un vantail et les moyens les plus efficaces de résister à ces efforts. On trouvera à la fin du volume (annexe B) le compte rendu de ces expériences qui font ressortir la convenance d'*accumuler la résistance en haut et un peu au-dessous du milieu (pratiquement au milieu) du vantail*. Serrant ensuite la question de plus près, M. Guillemain, au moyen de considérations et de calculs qui sont reproduits également dans l'annexe B, arrive à cette double conclusion qu'il faut :

Donner à l'entretoise supérieure des dimensions suffisantes pour qu'elle puisse supporter, également répartie sur la longueur, une charge égale au tiers de la pression totale de l'eau sur le vantail ;

Appliquer au centre du vantail une résistance sensiblement égale aussi au tiers de la pression totale de l'eau sur ce vantail.

Si le vantail est plus haut que large, la pièce destinée à soutenir le centre sera horizontale ; s'il est plus large que haut, elle sera verticale ; s'il est carré, on pourra se servir de deux pièces, l'une horizontale, l'autre verticale qui, étant égales, se partageront également l'effort.

Dans tous les cas, le vantail se trouvera ainsi divisé en panneaux solidement encadrés. On raisonnera alors sur chaque panneau comme on a fait pour le vantail entier, en soutenant son point faible de la façon la plus économique, eu égard aux données de la question. Il en résultera une nouvelle

subdivision sur laquelle on pourra raisonner de la même manière; et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'on arrive à un espacement des pièces assez restreint pour que le bordage puisse le franchir d'une portée.

157. Autres conditions auxquelles doivent satisfaire les vantaux. — Dans les articles qui précèdent, nous nous sommes exclusivement occupé de la résistance que les vantaux doivent présenter à la pression de l'eau quand ils sont en charge, en tenant compte, bien entendu, en tant que de besoin, de la compression due au buscage, mais il est d'autres conditions encore auxquelles ils doivent satisfaire pour assurer un bon service.

Ils doivent être autant que possible *indéformables*; il faut qu'ils présentent une rigidité suffisante pour résister aux efforts qui tendent soit à les déformer dans leur plan, soit à les gauchir.

Les vantaux doivent être *étanches*. Assurément, il n'est pas nécessaire que cette étanchéité soit absolue; néanmoins, en dehors de toute autre considération, il est incontestable que le courant provoqué dans le sas par suite du manque d'étanchéité des portes est toujours une cause de retard et de gêne dans les manœuvres.

Il importe également que les vantaux soient aussi *durables* que possible. Leur renouvellement ou seulement une grosse réparation comportant le remplacement de quelque pièce de l'ossature exige toujours un arrêt plus ou moins long dans le fonctionnement de l'écluse, impose une gêne sérieuse à la navigation.

Enfin, toutes les manœuvres à faire aux portes d'écluse, tant pour l'ouverture et la fermeture des vantaux que pour le remplissage et la vidange du sas, doivent pouvoir s'exécuter facilement et rapidement. Il est inutile d'insister sur l'importance de ce point pour les voies navigables à grande fréquentation.

158. Division du chapitre. — Ces principes généraux posés, nous allons voir comment ils ont été appliqués dans la pratique.

Nous nous occuperons d'abord des portes busquées et, en premier lieu, de la constitution des vantaux de ces portes. A cet effet, nous passerons en revue un certain nombre de types en bois, en métal ou mixtes, en nous appliquant à faire ressortir les dispositions employées pour satisfaire aux diverses conditions énoncées ci-dessus.

Nous examinerons, en second lieu, les organes et appareils destinés à permettre et à faciliter autant que possible les diverses manœuvres à faire aux portes d'écluse.

Nous passerons ensuite aux portes non busquées.

Enfin, de la comparaison des différents systèmes passés en revue et des divers modes de construction employés, nous nous efforcerons de dégager certaines conclusions pratiques, ainsi que nous l'avons fait plus haut en ce qui concerne les organes mobiles des barrages.

De là quatre divisions dans la suite de ce chapitre.

§ 2

PORTES BUSQUÉES. — CONSTITUTION DES VANTAUX

159. Spécimens de portes en bois. — *Ancienne porte d'écluse du canal de Saint-Quentin.* — Largeur de l'écluse 5 m. 20; hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc, 4 m. 68 (Pl. LV, page 335). Cette porte est décrite dans une note de M. l'ingénieur Lermoyez, en date du 20 janvier 1866¹, sans spécification de l'écluse ni indication de la chute et du mouillage sur le busc. Ses dimensions suffisent cepen-

1. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1866, 1^{er} semestre.

dant pour établir que c'est une porte d'aval. Les portes de ce type ont été remplacées depuis par des portes mixtes.

La largeur totale ¹ de chaque vantail est de 3 m. 15; la hauteur ² atteint 5 m. 98. La porte en question est du type dit à *balancier*; le cadre de chaque vantail s'élève au-dessus du couronnement des bajoyers, et l'entretoise supérieure se prolonge sur le terre-plein. Ce prolongement, qui constitue le balancier, fait, dans une certaine mesure, contrepoids au vantail et offre à l'éclusier chargé de la manœuvre un bras de levier plus ou moins long, à l'aide duquel il peut vaincre les résistances au mouvement du vantail.

Les pièces du cadre mesurent $\frac{0 \text{ m. } 30}{0 \text{ m. } 30}$ d'équarrissage; le poteau tourillon a même $\frac{0 \text{ m. } 35}{0 \text{ m. } 30}$.

Les entretoises intermédiaires, au nombre de quatre, ont respectivement, en les considérant du haut en bas, $\frac{0,25}{0,30}$, $\frac{0,28}{0,25}$, $\frac{0,28}{0,30}$ et $\frac{0,30}{0,30}$ d'équarrissage. Les intervalles de l'une à l'autre sont sensiblement égaux (0 m. 74, 0 m. 75 et 0 m. 73). De l'entretoise intermédiaire la plus basse à l'entretoise inférieure faisant partie du cadre, la distance est de 0 m. 85.

Un bracon continu, de même épaisseur que le cadre (0 m. 30), s'étend du pied du poteau tourillon à l'extrémité (voisine du poteau busqué) de l'entretoise supérieure, réalisant avec ces deux pièces un système triangulaire, indéformable dans les limites de la résistance des matériaux employés et de la perfection des assemblages.

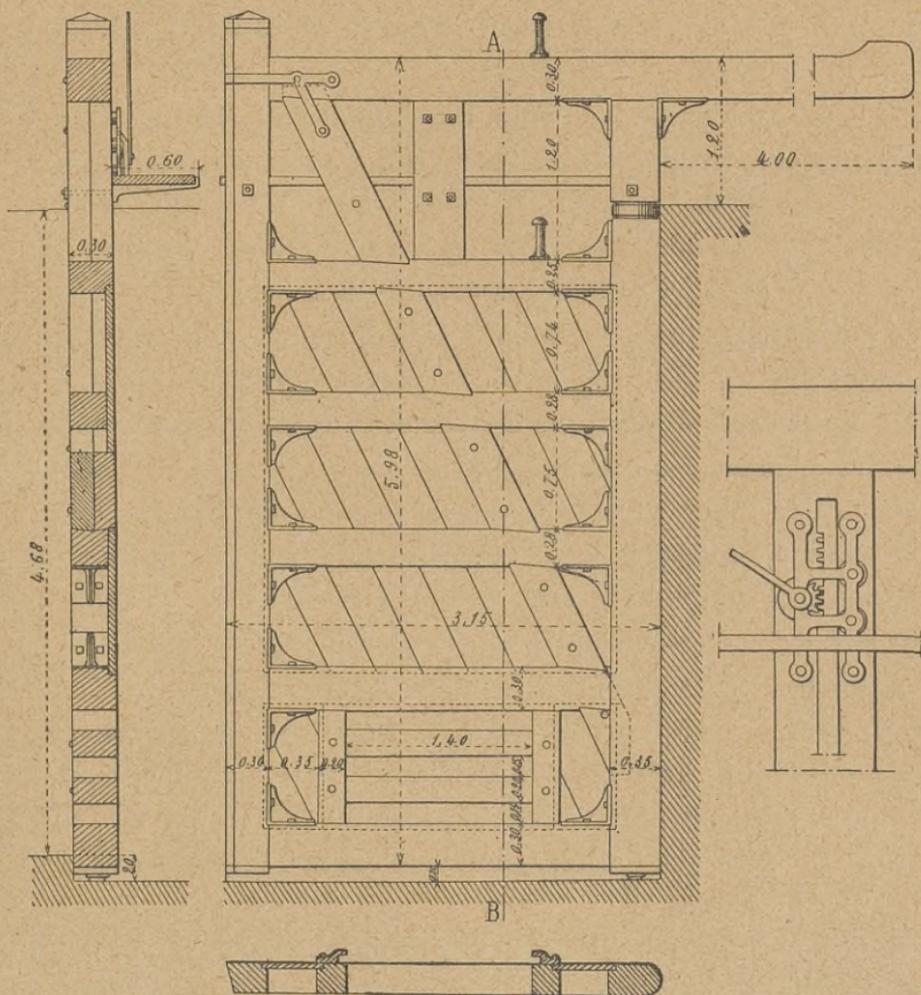
Le bordage, de 0 m. 05 d'épaisseur, est formé de madriers disposés parallèlement au bracon et ayant leur parement antérieur (du côté d'amont) dans le même plan que ledit bracon. Ces madriers s'engagent, par leurs abouts, dans des

1. Y compris toutes saillies des poteaux tourillon et busqué.

2. Mesurée du dessous de l'entretoise inférieure au dessus de l'entretoise supérieure.

COUPE

ÉLÉVATION D'UN VANTAIL VU D'AVANT



COUPE HORIZONTALE

PI. LV. ANCIENNE PORTE D'ÉCLUSE DU CANAL DE SAINT-QUENTIN

feuillures ménagées à cet effet, tant le long des poteaux tourillon et busqué que le long des entretoises intermédiaires n^{os} 1 et 4 ; ils passent par dessus les deux autres entretoises intermédiaires, et c'est pour cela que ces dernières ont seulement 0 m. 25 d'épaisseur. Cette disposition constitue ce qu'on appelle un bordage *continu*.

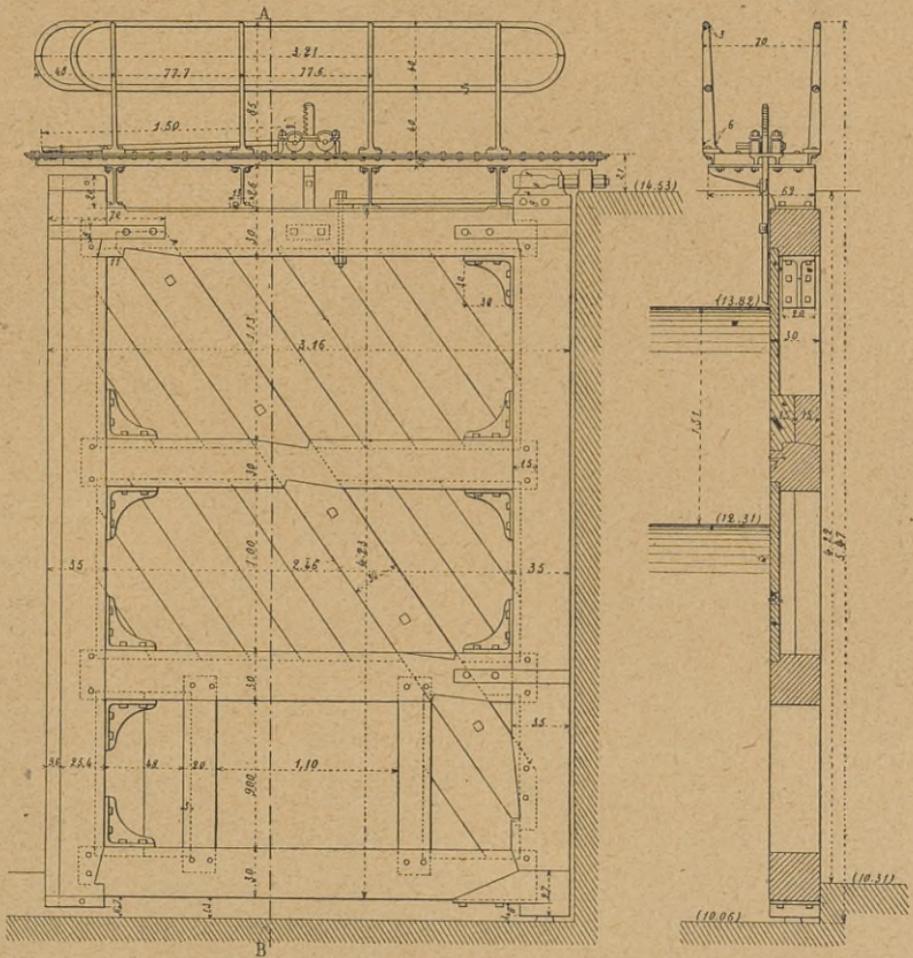
Les assemblages des pièces horizontales et verticales sont consolidés par l'apposition, dans chaque angle, d'un fort écoinçon en fonte fixé par des tire-fonds aux pièces qu'il réunit. Une bride en fer, de forme spéciale, relie au sommet du poteau busqué l'entretoise supérieure et le bracon.

Entre l'entretoise inférieure et l'entretoise intermédiaire la plus basse, sont disposées les pièces constituant la partie fixe d'une *ventelle glissante à jalousies*¹. Les vides, au nombre de trois, mesurent chacun 1 m. 40 de longueur sur 0 m. 15 de hauteur ; leur surface totale est de 0 m² 63. La ventelle se manœuvre au moyen d'un simple levier adapté à l'arbre d'un pignon qui commande une crémaillère. Ce petit mécanisme est fixé sur un potelet qui réunit, en leur milieu, l'entretoise supérieure et la première entretoise intermédiaire.

C'est également sur ce potelet, d'une part, ainsi que sur les poteaux tourillon et busqué, d'autre part, qu'est attachée, au moyen de consoles en fer, la passerelle de service en bois, large de 0 m. 60, entièrement en saillie sur le parement d'amont du vantail.

Les portes de ce type ont été remplacées depuis par des portes mixtes, mais après avoir fait un service aussi bon et aussi régulier que possible, malgré l'intensité exceptionnelle de la circulation sur le canal de Saint-Quentin ; quelques-unes ont duré, paraît-il, plus de trente ans.

1. Les ventelles de ce type comportent deux parties superposées, l'une fixe, l'autre mobile, présentant l'une et l'autre des vides et des pleins alternatifs. Quand les vides et les pleins des deux parties se correspondent, la ventelle est ouverte ; elle est fermée quand les pleins de la partie mobile correspondent aux vides de la partie fixe.



PI. LVI. ANCIENNE PORTE DE L'ÉCLUSE DU HAUT-PONT,
SUR L'AA (GRAND SAS)

*Ancienne porte du grand sas de l'écluse du Haut-Pont, sur l'Aa*¹. — Largeur de l'écluse, 5 m. 20 ; hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc, 4 m. 22 ; chute normale, 1 m. 51 ; mouillage sur le busc d'aval, 2 mètres² (pl. LVI). Il n'y a pas de mur de chute ; les portes d'amont et d'aval sont identiques ; construites en 1878, elles ont été remplacées en 1901 par des portes mixtes.

La largeur totale de chaque vantail est de 3 m. 16 ; la hauteur est de 4 m. 23.

L'équarrissage des pièces du cadre est de $\frac{0,35}{0,30}$ pour les poteaux tourillon et busqué et de $\frac{0,30}{0,30}$ pour les entretoises supérieure et inférieure.

Les entretoises intermédiaires, au nombre de deux, également de $\frac{0,30}{0,30}$ d'équarrissage, divisent le cadre en trois parties dont les hauteurs décroissent en allant de haut en bas (1 m. 13, 1 m. et 0 m. 90).

Un bracon continu, de $\frac{0,30}{0,30}$ d'équarrissage, réunit le poteau tourillon à l'entretoise supérieure.

Le bordage, de 0 m. 05 d'épaisseur, est formé de madriers parallèles au bracon ; mais ces madriers sont interrompus à la rencontre de chaque entretoise ; le bordage est *discontinu*.

Les assemblages des pièces horizontales et verticales sont consolidés par des écoinçons en fonte et des brides en fer.

Entre l'entretoise inférieure et l'entretoise intermédiaire la plus basse, est ménagée une baie de 1 m. 40 de large sur 0 m. 90 de haut, pour l'installation d'une ventelle à jalousies entièrement en fonte (partie fixe et partie mobile) présentant des vides d'une surface totale de 0 m² 5088. La ventelle se

1. Renseignements fournis par le service.

2. La chute et le mouillage sont toujours déterminés en supposant les retenues d'amont et d'aval tendues *horizontalement* à leur niveau normal. Quand il n'y a pas de retenue à l'aval, c'est le niveau d'étiage qui est considéré.

manœuvre au moyen d'un levier et d'un mécanisme fixé sur le tablier de la passerelle de service.

Cette dernière, entièrement métallique, mesurant 0 m. 70 de largeur hors garde-corps, est fixée sur l'entretoise supérieure au moyen de consoles également en fer. Elle utilise ainsi toute l'épaisseur du vantail et fait saillie de 0 m. 40 seulement sur la face amont.

*Porte d'amont de l'écluse de Cumières, sur la Marne*¹. — Largeur de l'écluse, 7 m. 80 ; hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc, 5 m. 22 ; chute normale, 4 m. 02 ; mouillage sur le busc, 2 m. 27 (pl. LVII, page 340). Ces portes ont été reconstruites en 1896.

La largeur totale de chaque vantail est de 4 m. 65 ; la hauteur est de 5 m. 18.

L'équarrissage des pièces du cadre est de $\frac{0,40}{0,35}$ pour le poteau fourillon, de $\frac{0,337}{0,35}$ pour le poteau busqué et de $\frac{0,35}{0,35}$ pour les entretoises supérieure et inférieure.

Les entretoises intermédiaires, au nombre de trois, divisent le cadre en quatre parties de hauteurs sensiblement égales (0 m. 88, 0 m. 88, 0 m. 86 et 0 m. 91) ; l'équarrissage est de $\frac{0,30}{0,30}$ pour les deux plus hautes et de $\frac{0,35}{0,35}$ pour la plus basse.

Le bracon est interrompu à la rencontre de chaque entretoise ; il est *discontinu*. Les abouts des différents tronçons sont reçus dans des sabots en fonte encastrés dans les entretoises.

Le bordage, continu, de 0 m. 05 d'épaisseur, est formé de madriers verticaux.

Les assemblages des pièces horizontales et verticales sont consolidés par des écoinçons en fonte, ainsi que par des brides et des équerres en fer. Les pièces sont, en outre, serrées les unes contre les autres par deux *boulons traversiers*.

1. Renseignements fournis par le service.

On appelle ainsi un tirant horizontal en fer rond qui relie le poteau busqué au poteau tourillon. Chaque tirant se compose de deux parties dont les extrémités, filetées en sens inverse, sont réunies par un double écrou commun qui permet de tendre fortement tout le système. Enfin, une *écharpe*, pièce de fer oblique, rattache la partie inférieure du poteau busqué au sommet du poteau tourillon de manière à empêcher le vantail de donner du nez.

Entre l'entretoise inférieure et l'entretoise intermédiaire la plus basse, sont disposées les pièces constituant la partie fixe d'une double ventelle à jalousies. Les vides, au nombre de quatre, mesurent 4 m. 25 de longueur sur 0 m. 28 de hauteur ; leur surface totale est de 1 m² 40.

La passerelle, en bois, repose tant sur la tête des poteaux tourillon et busqué que sur deux dés en bois superposés à l'entretoise supérieure. Sa largeur est de 0 m. 41 ; elle fait saillie de 0 m. 06 sur la face aval du vantail.

*Porte d'amont de l'écluse de Péchoir, sur l'Yonne (2^e section)*¹. — Largeur de l'écluse, 10 m. 50 ; hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc, 3 m. 99 ; chute normale, 2 mètres ; mouillage sur le busc, 3 m. 49 (pl. LVIII, page 342) ; porte construite en 1895.

La largeur totale de chaque vantail est de 6 mètres ; la hauteur est de 3 m. 95.

L'équarrissage des pièces du cadre est de $\frac{0,40}{0,35}$ pour les poteaux tourillon et busqué² et de $\frac{0,35}{0,35}$ pour les entretoises supérieure et inférieure.

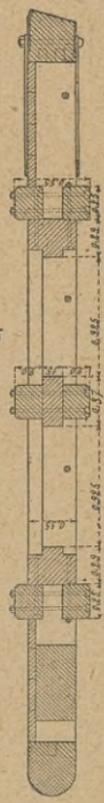
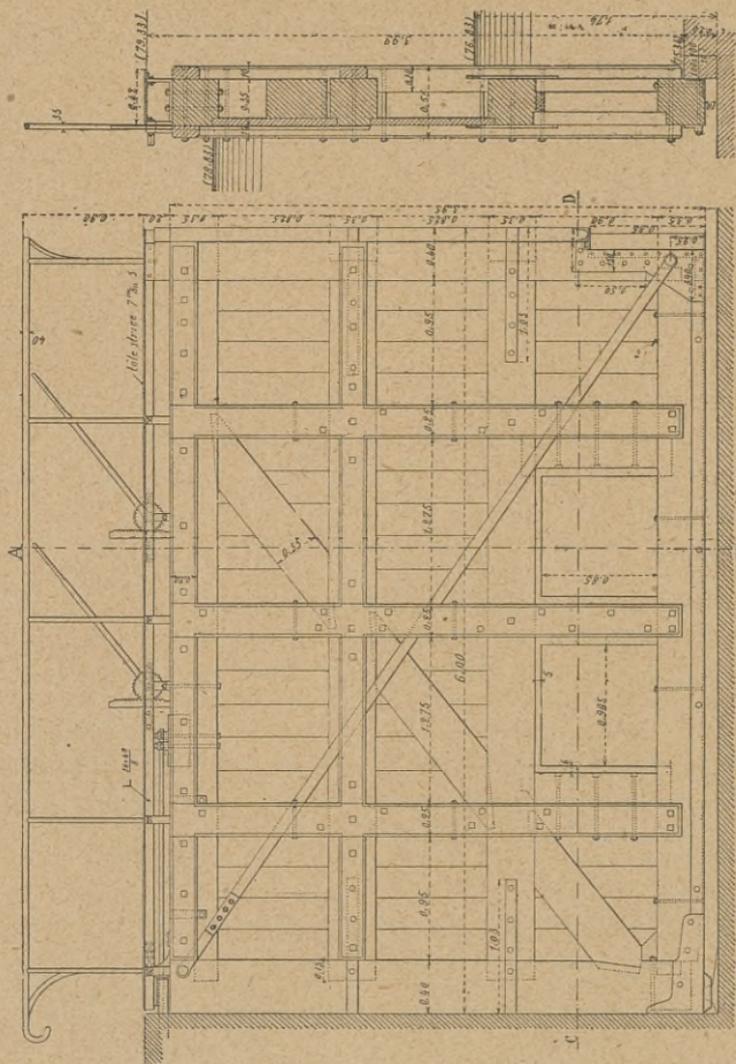
Ce dernier équarrissage est aussi celui des entretoises intermédiaires qui, au nombre de deux, divisent le cadre en trois parties de hauteurs sensiblement égales (0 m. 825, 0 m. 825 et 0 m. 90).

1. Renseignements fournis par le service.

2. Les deux poteaux busqués sont entaillés sur 0 m. 85 de hauteur, à leur partie inférieure, pour laisser passer la chaîne de touage.

ÉLEVATION D'UN VANTAIL VU D'AVANT

COUPE AB



Pl. LVIII. PORTE D'AMONT DE L'ÉCLUSE DE PÉCHOIR, SUR L'YONNE (2^e SECTION)

Le bracon, de $\frac{0,35}{0,30}$, est discontinu ; les différents tronçons s'assemblent avec les entretoises par de simples embrèvements, sans interposition de sabots métalliques.

Le bordage, discontinu, de 0 m. 05 d'épaisseur, est formé de madriers verticaux.

Les assemblages des pièces horizontales et verticales sont consolidés simplement par des brides en fer, mais deux écharpes, une sur chaque face, relie le sommet du poteau tourillon à un fort sabot en tôle dans lequel sont engagés le pied du poteau busqué et l'extrémité contiguë de l'entretoise inférieure. En outre, trois cours de moises pendantes, entaillées au passage des entretoises, les solidarisent entre elles et maintiennent invariablement en place les différents tronçons du bracon.

L'ensemble de ces dispositions assure une grande rigidité à ces portes, qui sont caractérisées par l'emploi de bois de fort échantillon, aussi peu entaillés que possible, pour les pièces essentielles de l'ossature.

Entre l'entretoise inférieure et l'entretoise intermédiaire la plus basse, sont ménagées deux baies contiguës de 0 m. 905 de large sur 0 m. 85 de haut pour l'installation de ventelles tournantes à jalousies, d'une manœuvre très commode, laissant chacune une surface de 0 m² 61925 pour le passage de l'eau.

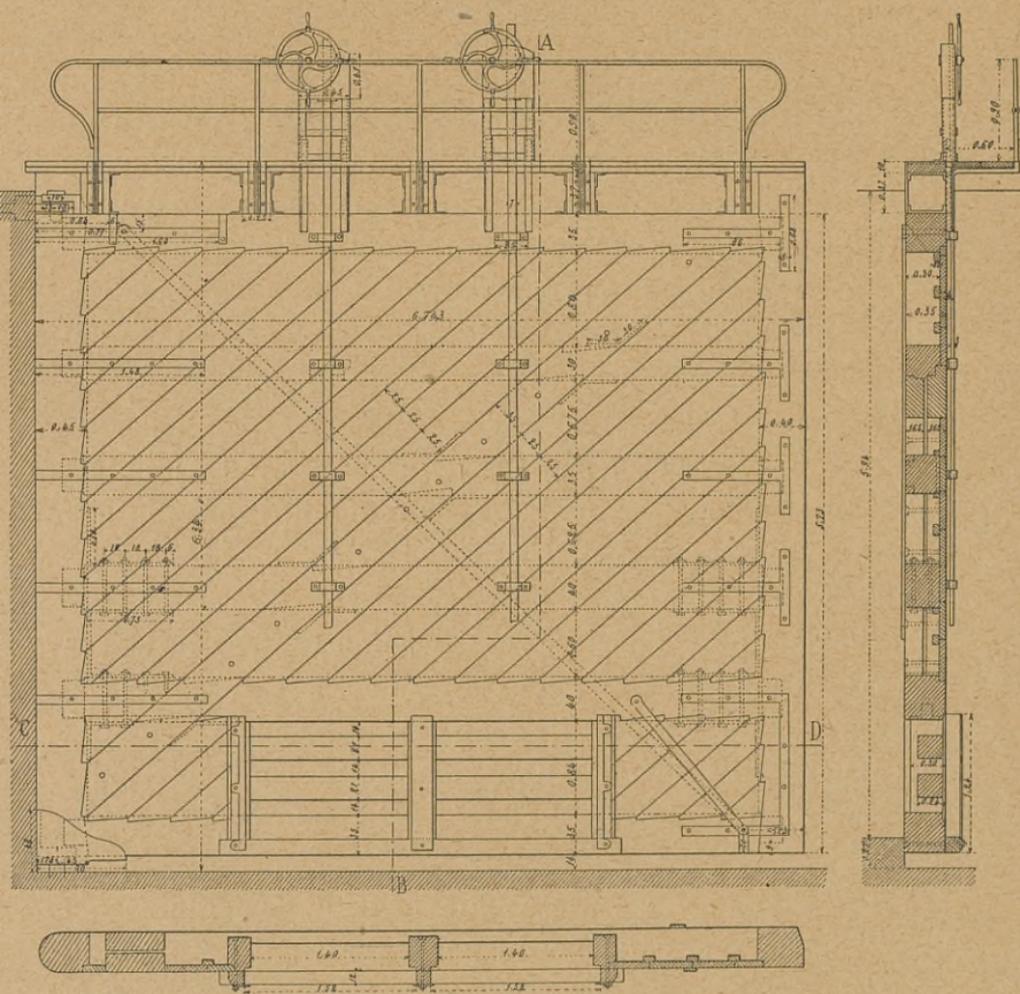
La passerelle de service, complètement métallique, de 0 m. 42 de largeur en dehors du garde-corps unique placé du côté d'amont, est comprise tout entière dans l'épaisseur de la porte, épaisseur qui, avec les moises pendantes, n'est pas inférieure à 0 m. 55.

*Porte d'amont de l'écluse de Hun, sur la Meuse belge*¹. — Largeur de l'écluse, 12 mètres ; hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc, 5 m. 94 ; chute normale,

1. Renseignements fournis par le service.

ÉLÉVATION D'UN VANTAIL VU D'AMONT

COUPE AB



PL. LIX. — PORTE D'AMONT DE L'ÉCLUSE DE HUN, SUR LA MEUSE BELGE

2 m. 82; mouillage sur le busc, 4 m. 92 (Pl. LIX); porte reconstruite en 1893.

La largeur totale de chaque vantail est de 6 m. 743; la hauteur est de 5 m. 73.

L'équarrissage des pièces du cadre est de $\frac{0,45}{0,35}$ pour le poteau tourillon, de $\frac{0,40}{0,35}$ pour le poteau busqué et de $\frac{0,35}{0,35}$ pour les entretoises supérieure et inférieure.

Les entretoises intermédiaires, au nombre de quatre, divisent le cadre en cinq parties, dont la hauteur va en décroissant de haut en bas (0 m. 84, 0,675, 0,625 et 0,60) pour les quatre premières. Par exception à cette règle, l'intervalle entre l'entretoise intermédiaire la plus basse et l'entretoise inférieure est portée à 0 m. 84 à la demande de la ventellerie. D'autre part, les équarrissages des entretoises intermédiaires vont en croissant de haut en bas $\left(\frac{0,30}{0,30}, \frac{0,35}{0,30}, \frac{0,40}{0,30} \text{ et } \frac{0,40}{0,35}\right)$.

Le bracon, de $\frac{0,35}{0,35}$, est continu.

Le bordage, continu, de 0 m. 05 d'épaisseur, est formé de madriers parallèles au bracon. Les feuillures dans lesquelles s'engagent les abouts des madriers sont taillées en crémaillère, de façon à former embrèvement pour chacun d'eux.

Les assemblages des pièces horizontales et verticales sont consolidés par des brides ou des équerres en fer. Sur la face aval, on trouve une écharpe qui relie les deux entretoises supérieure et inférieure et qui, par conséquent, ne forme pas, rigoureusement, un système triangulaire. Un tronçon d'échappe réunit, sur la face amont, l'entretoise intermédiaire la plus basse et l'entretoise inférieure.

Entre ces deux entretoises sont disposées les pièces constituant la partie fixe d'une double ventelle à jalousies. Les vides, au nombre de six, mesurent chacun 1 m. 40 de long sur 0 m. 14 de haut; leur surface totale est de 1 m² 176.

La passerelle, en bois, munie d'un seul garde-corps, vers

l'amont, a une largeur totale de 0 m. 95, dont 0 m. 60 en saillie sur la face amont.

160. Déformation d'un vantaïl dans son plan. — Un premier fait se dégage de la revue que nous venons de passer d'un certain nombre de portes d'écluse en bois. Les éléments essentiels de l'ossature sont presque tous horizontaux ou verticaux ; ils sont donc réunis par des assemblages à angle droit, c'est-à-dire rien moins qu'invariables.

Or, chaque vantaïl est alternativement soumis à des efforts verticaux de sens contraire qui tendent à le déformer dans son plan et à le faire passer du rectangle au parallélogramme. C'est, de bas en haut, la sous-pression de l'eau quand la porte est en charge ; c'est, de haut en bas, le poids propre du vantaïl quand l'eau est au même niveau sur ses deux faces.

La sous-pression, très importante parfois dans les portes à la mer, peut être négligée pour les portes des écluses des voies de navigation intérieure. L'expérience prouve que ces dernières tendent toujours à *donner du nez* lorsque leurs assemblages sont insuffisamment consolidés ou s'affaiblissent. On a vu des vantaux arriver à frotter sur le radier de la chambre de la porte ; il en résulte de tels inconvénients que tout vantaïl qui touche doit être immédiatement relevé ou remplacé ; il ne faut pas attendre que la manœuvre devienne tout à fait impossible et que la navigation soit brusquement interrompue.

161. Consolidation des assemblages à angle droit. —

Pour combattre la tendance à donner du nez, on peut chercher à consolider les assemblages mêmes et, à cet effet, nous avons vu employer : 1^o des écoinçons en fonte ; 2^o des équerres ou des brides en fer méplat ; 3^o des boulons traversiers ; 4^o des moises pendantes.

Les écoinçons en fonte, les équerres et les brides en fer ont pour objet direct de maintenir l'angle des pièces sur lesquel-

les ils sont fixés. Seulement, comme ils sont placés au sommet même de cet angle, il suffit du moindre jeu résultant de la compression ou de la pourriture du bois, ou encore de l'usure du métal, pour permettre un mouvement marqué à l'autre extrémité des pièces.

C'est surtout en appliquant fortement l'une contre l'autre les pièces assemblées que les boulons traversiers fortifient les assemblages, et, à ce point de vue, ils offrent une ressource précieuse pour la consolidation des vantaux vieillis et fatigués ; mais n'est-il pas à craindre qu'on ne puisse pas toujours les resserrer à volonté, une fois que l'oxydation aura envahi les extrémités filetées et leur écrou ?

Nous avons connu des constructeurs émérites partisans convaincus de ces divers modes de consolidation et, en vérité, il se pourrait bien que chacun d'eux fut efficace à la condition d'être appliqué avec toutes les précautions voulues. C'est ainsi qu'un écoinçon n'aura aucun effet utile si les tire-fonds sont enfoncés à coups de marteau dans des trous percés trop larges, comme cela n'arrive que trop souvent. Mais si les trous sont d'un diamètre notablement inférieur à celui des tire-fonds, si ces derniers y sont introduits de force au moyen de longues clés qui permettent un effort extrêmement considérable, la consolidation sera très sérieuse.

Ces trois systèmes ont d'ailleurs encore un défaut commun. Les liaisons du fer avec le bois ne peuvent conserver longtemps leur rigidité dans des ouvrages exposés alternativement à la sécheresse et à l'humidité, comme c'est le cas pour une notable partie de tout vantail de porte d'écluse.

Les moises pendantes, en solidarissant toutes les pièces horizontales, ont le plus heureux effet au point de vue de la conservation du système rectangulaire.

162. Bracon. — Le bracon, qui réunit le pied du poteau tourillon à l'extrémité (du côté du poteau busqué) de l'entretoise supérieure, constitue avec ces deux pièces un système

triangulaire, invariable dans les limites de la résistance des matériaux employés et de la perfection des assemblages.

Le bracon continu classique est double, formé de deux pièces ayant chacune comme épaisseur la moitié de l'épaisseur du cadre. La pièce du côté d'amont est seule continue et s'assemble à mi-bois avec les entretoises ; la pièce du côté d'aval est interrompue au droit des entretoises ; chaque tronçon s'assemble avec ces dernières au moyen d'un simple embrèvement et est relié par des boulons à la pièce continue.

Cette disposition établit entre les diverses pièces une liaison très intime, mais elle a l'inconvénient grave d'affaiblir beaucoup les entretoises et pour quelques-unes précisément en leur milieu.

Il suffit de faire l'épure de l'assemblage avec une entretoise pour s'en rendre compte (fig. 74). La section $abcd$ de cette dernière se trouve réduite à $\alpha\beta\beta'\gamma'\gamma\delta$ au passage du bracon.

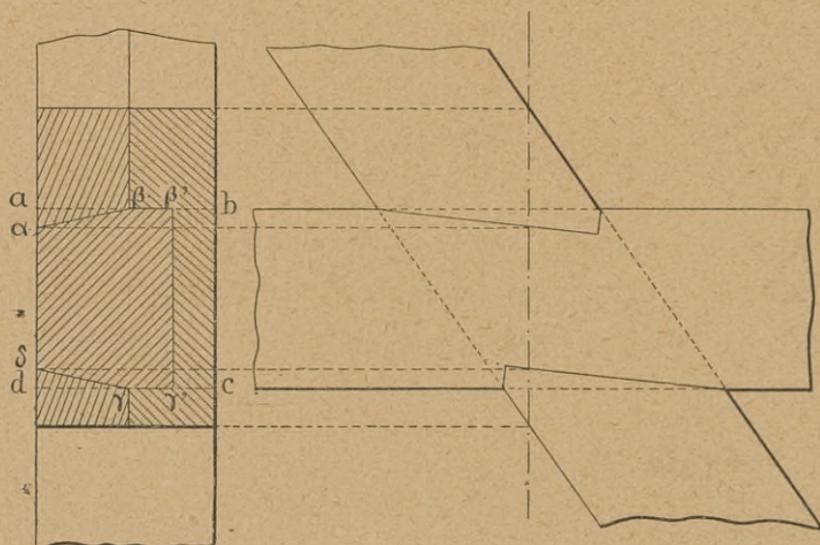


Fig. 74

D'autre part, le bracon, résistant à la compression, transmet cette compression aux fibres des pièces de bois sur lesquelles il s'appuie et il la leur transmet en s'y appuyant obliquement, ce qui facilite la pénétration des fibres. Pour remédier à cet

inconvéniént on a eu l'idée de recevoir les abouts du bracon dans des sabots en fonte. C'est encore de sabots de cette espèce qu'on se sert pour assurer le maintien à l'emplacement voulu des divers tronçons du bracon, lorsqu'il est discontinu. Malheureusement, la qualité du bois s'altère promptement au contact de la fonte des sabots et, d'autre part, les pièces sur lesquelles sont fixés ces sabots sont affaiblies par les trous qu'exigent les tire-fonds ou les boulons nécessaires à cet effet.

Malgré ces défauts, le bracon peut être très utile tant que son inclinaison sur la verticale n'est pas trop forte, tant que le rapport de la hauteur du vantail à sa largeur est élevé. Il est évident que dans l'ancienne porte du canal de St-Quentin, pour laquelle ce rapport s'élève à 1,90, le bracon devait être très efficace et qu'il doit l'être infiniment moins dans la porte de l'écluse de Pêchoir, où le même rapport tombe à 0,66.

Lorsque le bordage est disposé parallèlement au bracon et encastré dans des feuillures qui le font travailler à la compression en même temps que cette pièce, il en augmente l'effet utile.

163. Écharpe. — L'écharpe est une pièce de fer qui, en théorie, doit partir du sommet du poteau tourillon et aboutir à l'extrémité (du côté du poteau busqué) de l'entretoise inférieure, en formant avec ces deux pièces un système triangulaire invariable. En pratique, on est souvent obligé de modifier les points d'attache de cette pièce, notamment pour ne pas rendre impossible le fonctionnement des ventelles. Quoi qu'il en soit, le métal, dans l'écharpe, travaille à l'extension, c'est-à-dire dans les conditions les meilleures ; en augmentant suffisamment sa section, on peut lui demander l'effort que l'on veut. Mais, dès que cet effort devient important, il convient de doubler l'écharpe, d'en placer une sur chaque face ; autrement, il y aurait tendance au gauchissement du vantail.

L'important est de donner à l'écharpe, à chacune de ses extrémités, un point d'attache solide. Un simple boulon traversant une pièce de bois serait assurément insuffisant. On prend généralement ces points d'attache, d'une part, sur un solide chapeau en fonte ou en fer qui coiffe le poteau tourillon, d'autre part, sur un sabot également métallique qui embrasse tout l'assemblage de l'entretoise inférieure et du poteau busqué. Il n'est pas sans intérêt de remarquer que la partie supérieure du poteau tourillon et la partie inférieure du poteau busqué se trouvent dans de bonnes conditions, au point de vue de la conservation du bois, comme étant, l'une toujours à l'air, l'autre toujours sous l'eau.

Souvent, on munit les écharpes de tendeurs, comme ceux des boulons traversiers, ou de clés de serrage. Ces organes compliquent les pièces, les affaiblissent et sont généralement hors d'usage quand on veut s'en servir. D'ailleurs ce serait une illusion de croire qu'on peut relever un vantail simplement en agissant sur un écrou ou des clés de serrage. Quand un vantail donne du nez, il faut assécher la chambre de la porte, le relever de la quantité voulue avec des crics, le mettre sur cales et c'est alors qu'on règle la longueur de l'écharpe. La figure 75 montre un dispositif très simple et très robuste qui permet un réglage facile.

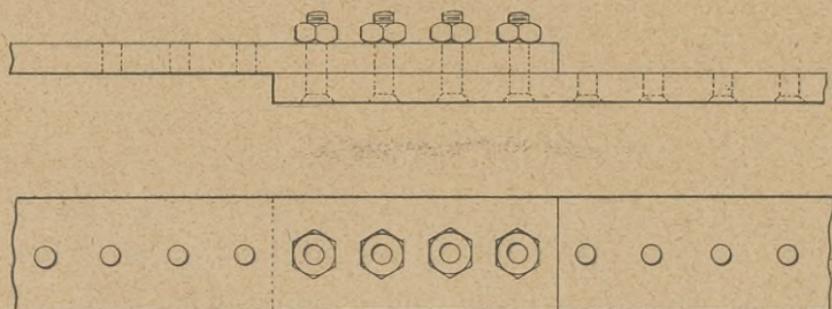


Fig. 75.

L'écharpe est formée de deux barres de fer méplat qui se recouvrent et sont boulonnées l'une sur l'autre. Les trous de

boulons, équidistants, se poursuivent sur chaque barre au delà de l'assemblage primitif, de sorte qu'en enlevant les boulons et en les remplaçant convenablement, il est très facile de raccourcir l'écharpe d'une longueur égale à la distance de deux trous consécutifs ou à un multiple de cette distance.

L'écharpe est un excellent moyen de consolidation ; c'est le plus efficace et peut-être le seul efficace, lorsque le rapport de la hauteur à la largeur du vantail devient faible.

164. Gauchissement du vantail. — Un vantail de porte busquée est exposé à un autre genre de déformation que celui que nous venons d'examiner avec quelque détail ; plusieurs causes tendent à le gauchir.

C'est d'abord la pression de l'eau quand le vantail est en charge. N'oublions pas, en effet, que si, dans cette position, il est soutenu par le chardonnet et le busc suivant le poteau tourillon et l'entretoise inférieure, l'angle opposé à celui que forment ces deux pièces reste libre et tend nécessairement à fléchir.

Quand on manœuvre un vantail pour le fermer ou l'ouvrir, la force nécessaire est généralement appliquée à la partie supérieure, tandis que c'est sur la partie inférieure, sur la partie immergée, qu'agit la résistance de l'eau au mouvement. Il y a là encore une tendance au gauchissement, qui s'exerce tantôt dans le même sens que la précédente, tantôt en sens contraire.

Il est certain que sous la pression de l'eau les vantaux en charge se voilent toujours, *peu ou prou*. C'est uniquement parce qu'ils se voilent qu'ils buttent l'un contre l'autre, qu'ils exercent l'un contre l'autre des réactions qui se transmettent aux bajoyers et tendent à les renverser. Il est d'ailleurs aisé de comprendre que ces mouvements de torsion ne peuvent avoir qu'une influence néfaste sur la conservation des assemblages. Il est donc essentiel d'éviter ou plutôt de renfermer dans les plus étroites limites ce gauchissement des vantaux.

Première condition essentielle : lorsque le vantail est fermé, il ne suffit pas que le poteau tourillon s'appuie par sa face aval sur le chardonnet, il faut encore qu'il s'applique par sa face postérieure contre le fond de l'enclave, de manière à être à l'abri de tout déplacement et de toute déformation. Nous verrons plus loin (pages 376 et 377) comment il est possible de réaliser cette condition qui ressortit plutôt à la pose qu'à la constitution même du vantail.

Pour donner à ce dernier toute la raideur désirable, on peut augmenter son épaisseur, renforcer le poteau busqué ; il est surtout essentiel de solidariser autant que possible toutes les pièces. On y arrivera avec un bracon continu, avec un bordage continu, surtout si ce dernier est oblique et si les abouts des madriers qui le composent sont soigneusement encastrés, et principalement avec des moises pendantes.

Une pratique excellente, consacrée par un usage général et justifiée d'ailleurs par des considérations théoriques, consiste à abattre par un chanfrein l'angle aigu du poteau busqué (fig. 76).

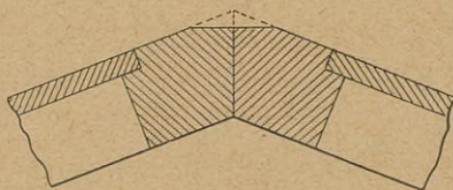


Fig. 76.

Si on ne prend pas cette précaution, la réaction d'un vantail sur l'autre s'exerce, par raison de symétrie, suivant l'axe du vantail.

Avec le chanfrein, cette réaction est reportée vers l'aval et tend à arquer le vantail contre la pression de l'eau. La déformation produite par cette dernière peut ainsi être diminuée dans une mesure très sensible.

165. Etanchéité des vantaux. — Avec des madriers

bien dressés, bien jointifs, soigneusement encastrés dans les feuillures ménagées à cet effet sur le bord des pièces principales de l'ossature, on peut obtenir un bordage, par conséquent un vantail suffisamment étanche, du moins après quelques jours de service, lorsque le contact un peu prolongé de l'eau a amené le gonflement des bois. Convient-il de calfater les bordages neufs ? La question est controversée. Pour nous, nous partageons l'opinion que nous avons entendu soutenir par des constructeurs distingués, à savoir : qu'il est préférable de ne pas calfater les bordages neufs, et de réserver cette opération pour les bordages déjà fatigués. On sait en quoi elle consiste.

Les joints des madriers sont élargis au ciseau et on les bourre, à force, d'étoupes goudronnées et brayées. Quelquefois, pour maintenir les étoupes en place, on recouvre chaque joint d'une bande de feutre goudronné et celle-ci d'un petit liteau en bois ou d'une bande de zinc que l'on cloue sur chaque rive aux madriers formant le joint. Cette dernière opération porte le nom de *palatrage*.

166. Durée. — Les bois qui entrent dans la composition d'un vantail sont pour partie toujours à l'air, pour partie toujours immergés, pour partie enfin, tantôt immergés, tantôt à sec. Ces derniers sont évidemment dans de très mauvaises conditions au point de vue de la conservation.

Il faut, avant tout, choisir des bois de bonne qualité, de bonne provenance, bien secs et exempts d'aubier. Il est nécessaire qu'ils aient au moins *deux ans* de coupe et, en réalité, le seul moyen d'avoir toute garantie sur ce dernier point, ainsi que sur la provenance, est d'acheter les bois soi-même et de les approvisionner au moins un an d'avance. Le choix des bois a donc une importance capitale ; il ne faut pas se dissimuler que c'est une opération des plus délicates, qui exige des connaissances et une expérience toutes spéciales. D'ailleurs, les bois de chêne de gros équarrissage,

nécessaires pour la construction des portes d'écluse, deviennent de plus en plus rares et coûteux.

Dans la mise en œuvre de ces bois, il faut éviter, autant que possible, les trous verticaux où l'eau séjourne et qui deviennent à la longue des foyers de pourriture. Mais le principal et inévitable danger se trouve aux assemblages, où le bois est découpé et par suite moins résistant, où il présente des épaisseurs plus faibles et a plus de chances de se fendre, et qui tendent à s'ouvrir toutes les fois que le vantail est déformé. C'est là surtout que la pourriture exerce ses ravages.

Au point de vue de la durée des portes, le *desideratum* serait l'emploi d'un petit nombre de pièces de fort équarrissage aussi peu entaillées que possible. Il va sans dire que la peinture et le goudronnage seront appliqués aussi souvent qu'il sera nécessaire et en même temps possible, et toujours avec discernement.

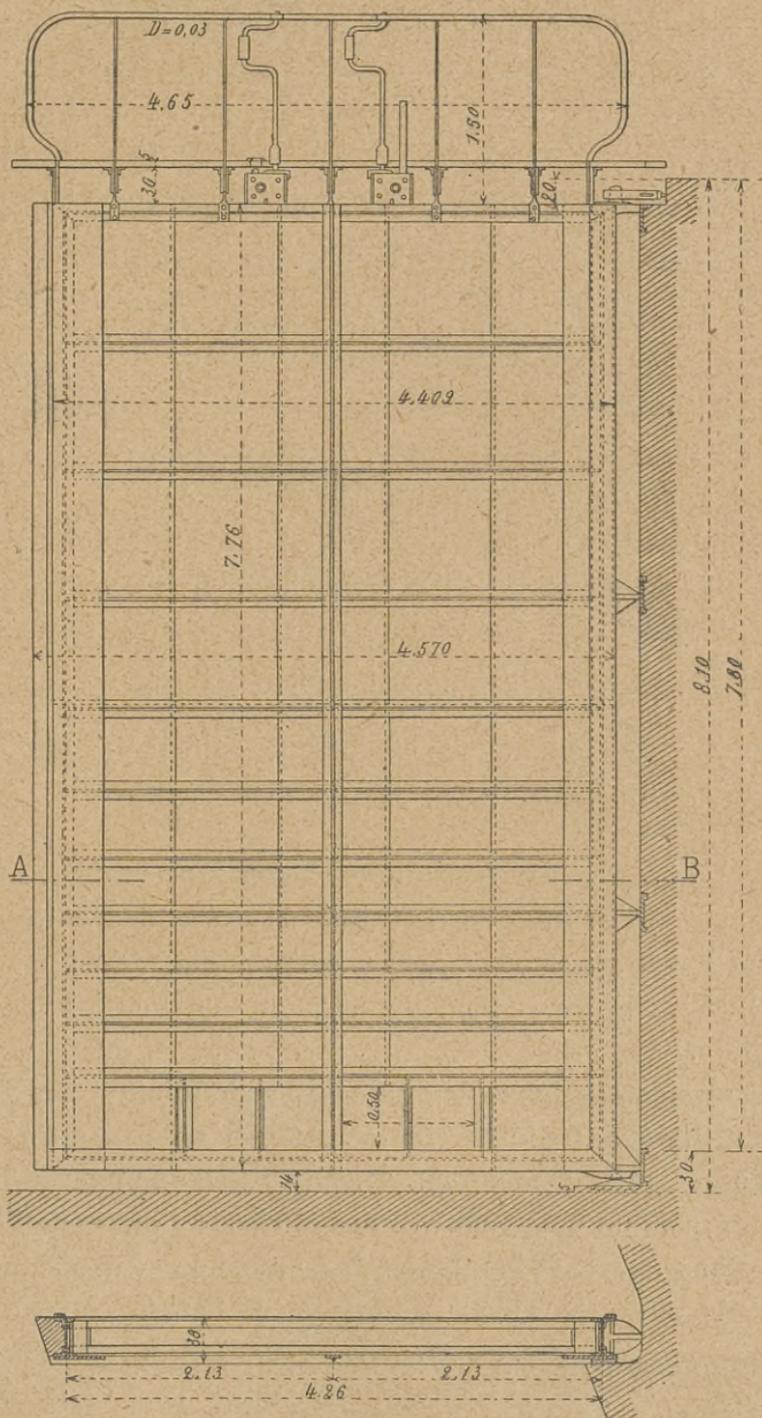
On a cité plus haut des portes en bois qui auraient fait plus de *trente* années de service ; nous en avons vu, dans une récente tournée d'inspection, qui comptaient *trente neuf* ans d'âge et qui paraissaient pouvoir faire encore quelque usage. Ce sont assurément là des durées tout à fait exceptionnelles et sur lesquelles on ne saurait, normalement, compter. On doit considérer *vingt-cinq* ans comme une limite déjà des plus honorables ; il est prudent de prévoir moins.

167. Spécimens de portes métalliques. — *Porte d'aval de l'écluse de Charenton sur le canal Saint-Maurice*¹. Largeur de l'écluse, 7 m. 80 ; hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc, 7 m. 80 ; chute normale, 4 m. 25 ; mouillage sur le busc, 2 m. 05² (Pl. LIX).

¹ Voir le mémoire de M. l'ingénieur Malézieux sur les portes en tôle construites en 1863 et 1864 aux écluses du canal Saint Maurice. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1865, 1^{er} semestre.

² Entre le barrage de Suresnes et la tête aval de l'écluse de Charenton, sur une longueur de 23 kilomètres, la pente superficielle du bief de Paris est moyennement de 0 m. 35. Lorsque les eaux sont tendues à Suresnes, à leur altitude normale (27,00), la chute se réduit ordinairement à 3,90, et le mouillage sur le busc s'élève à 2 m. 40.

ÉLEVATION D'UN VANTAIL VU D'AVANT



COUPE HORIZONTALE

Ces portes de l'écluse de Charenton, construites en 1864 par M. Malézieux, fonctionnent encore aujourd'hui de la façon la plus satisfaisante ; elles constituent, on peut le dire, un type classique.

Chaque vantail mesure 4 m. 57 de large (4 m. 75 toutes saillies comprises) et 7 m. 76 de hauteur.

Le cadre est formé par quatre poutres en **I** composées d'une âme de $\frac{300}{9}$ et de quatre cornières de $\frac{70 \times 70}{9}$. Ces poutres sont placées de telle sorte que leur âme est perpendiculaire au plan du vantail, elles sont assemblées au moyen d'équerres en tôle de 12 millimètres d'épaisseur.

Les entretoises intermédiaires, horizontales, au nombre de dix, ont la même forme et la même hauteur (0 m. 30), seulement l'âme n'a que 8 millimètres d'épaisseur avec cornières de $\frac{60 \times 60}{8}$. L'assemblage de ces entretoises avec les montants du cadre se fait également au moyen d'équerres en tôle de 12 millimètres. L'écartement des entretoises varie, du haut en bas, suivant une loi inversement proportionnelle à la pression de l'eau. Il n'y a d'exception que pour l'intervalle compris entre l'entretoise inférieure et la plus basse des entretoises intermédiaires ; ces deux pièces laissent entre elles un vide de 0 m. 50, nécessaire pour donner aux ventelles une hauteur suffisante.

Le bordage est formé de cinq feuilles de tôle, de 4 millimètres d'épaisseur, réunies entre elles ainsi qu'au cadre et aux entretoises sur la face amont. Il constitue la meilleure consolidation que l'on puisse désirer des différentes pièces de l'ossature. Dans le but de compléter la solidarité entre ces pièces, on trouve sur la face aval : de l'un et de l'autre côté, le long des montants, deux bandes de tôle verticales de $\frac{400}{8}$, régissant sur toute la hauteur du vantail, et au milieu, un fer à **L** également vertical, de même longueur.

Le poteau tourillon, dont la forme est celle d'un **I**, porte

à l'extérieur quatre disques en fonte qui, lorsque la porte est fermée, viennent buter contre la maçonnerie et reportent sur le bajoyer l'effort de compression dû au buscage. Pour assurer ce buscage, les deux poteaux busqués portent, du côté extérieur, enchassées entre les ailes du **I** des pièces de bois taillées à la demande.

Des fourrures en bois s'interposent également entre le vantail et les maçonneries, tout le long du chardonnet et du busc, en sorte que partout la fermeture s'opère exactement dans les mêmes conditions qu'avec des vantaux en bois.

Entre l'entretoise inférieure et l'entretoise intermédiaire la plus basse, sont juxtaposées deux ouvertures de 1 m. 05 de large sur 0 m. 50 de haut (surface, ensemble, 1 m² 05) fermées par des vannes pleines. Les vilbrequins au moyen desquels les ventelles étaient, primitivement, manœuvrées, ont été abandonnés et remplacés par des crics.

La passerelle de service, avec plancher en bois supporté par des consoles en fer et munie d'un garde-corps unique vers l'aval, présente une largeur de 0 m. 60 presque entièrement en saillie sur la face amont du vantail.

*Porte d'aval d'une écluse à grande chute du canal du Centre*¹. — Largeur de l'écluse 5 m. 20 ; hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc 8 m. 20 ; chute 5 m. 20 ; mouillage sur le busc, 2 m. 60 (pl. LXI, page 358). Les écluses à grande chute du canal du Centre ont été terminées de 1887 à 1889.

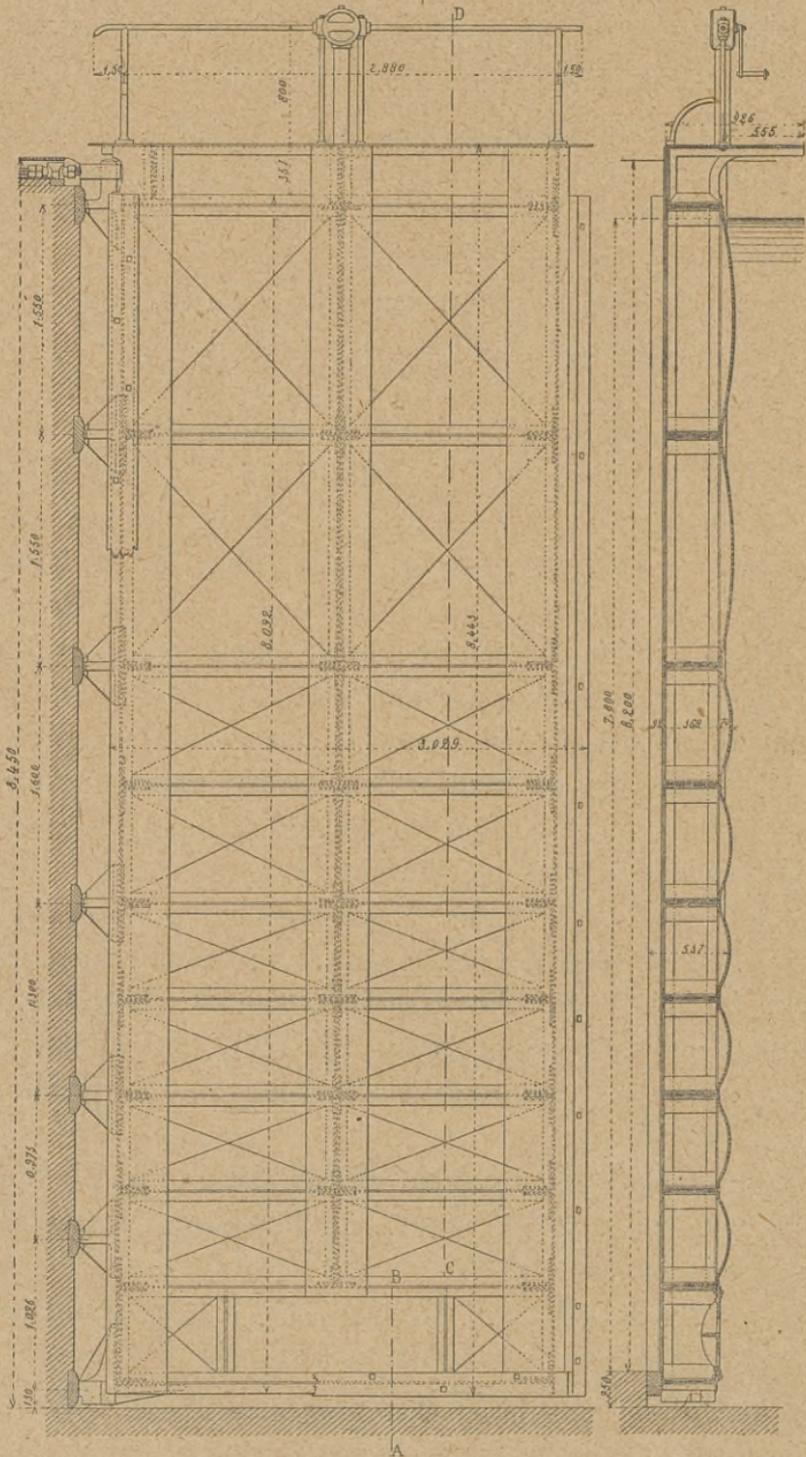
Chaque vantail mesure 3 m. 029 de large (3 m. 32 toutes saillies comprises) et 8 m. 092 de hauteur ; l'ossature est entièrement en acier doux.

Le cadre est formé par quatre poutres en **I** assemblées au moyen d'équerres en tôle. Les poteaux tourillon et busqué se composent d'une âme de $\frac{360}{9}$ et de quatre cornières de $\frac{70 \times 70}{9}$,

¹ Collection de dessins distribués aux élèves de l'Ecole des Ponts et Chaussées, t. III, page 844.

ÉLEVATION D'UN VANTAIL VU D'AVANT

COUPE ABCD



PL. LXI. PORTE D'AVANT D'UNE ÉCLUSE A GRANDE CHUTE
DU CANAL DU CENTRE

les entretoises supérieure et inférieure d'une âme de $\frac{360}{6}$ et de quatre cornières de $\frac{65 \times 65}{8}$.

Les entretoises intermédiaires, horizontales, au nombre de huit, se composent d'une âme de $\frac{360}{8}$ et de quatre cornières de $\frac{65 \times 65}{8}$; elles sont espacées de manière à supporter sensiblement la même charge et sont reliées entre elles, en leur milieu, par des entretoises verticales. Le poteau tourillon, le poteau busqué et les entretoises verticales sont renforcés sur leur face aval et sur toute la hauteur du vantail par trois bandes de tôle de $\frac{400}{8}$, pour donner la rigidité nécessaire.

Le bordage est fait de dix-huit plaques de tôle de fer embouties, bombées vers l'amont, de 7 millimètres d'épaisseur et de 7 centimètres de flèche, rivées sur la face amont de l'ossature en acier; elles ne prennent sous la charge aucune déformation sensible.

La pression du vantail contre le fond de l'enclave y est répartie par sept disques en fonte sur des plaques de friction. Celles-ci, munies chacune de trois vis de réglage, sont placées avec la précision nécessaire pour que toutes portent et travaillent.

Deux pièces de bois enchâssées entre les ailes des poteaux busqués et des fourrures en bois interposées entre les vantaux et les maçonneries, tout le long des chardonnets et du busc, assurent la fermeture dans les mêmes conditions qu'à l'écluse de Charenton.

Entre l'entretoise inférieure et l'entretoise intermédiaire la plus basse de chaque vantail, est ménagée une baie rectangulaire de 4 m. 327 de large sur 0 m. 512 de haut, fermée au moyen d'une vanne à jalousies en fonte¹. Cette vanne est établie seulement en vue du cas, assurément très exceptionnel,

1. Les vides, au nombre de deux, mesurent 4 m. 15 de large sur 0 m. 40 de haut; leur surface, ensemble, est de 0 m² 23.

où les vannes cylindriques (voir page 319) cesseraient de fonctionner.

La passerelle de service, entièrement métallique, munie d'un garde-corps unique placé sensiblement dans le plan de la face amont du vantail, a une largeur totale de 0 m. 926, dont 0 m. 555 en amont et 0 m. 371 en aval du garde-corps.

Les portes du canal du Centre présentent encore une particularité qu'il est bon de signaler. Pour préserver le métal de l'oxydation on a eu recours, non plus au goudronnage ou à la peinture, mais à la galvanisation.

*Porte d'aval de l'écluse de Varennes, sur la Haute-Seine*¹. — Largeur de l'écluse, 12 mètres; hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc, 4 m. 40; chute normale, 1 m. 42; mouillage sur le busc, 2 mètres (pl. LXII). Les portes actuelles de l'écluse de Varennes ont été construites en 1899.

Chaque vantail mesure 6 m. 837 de large, toutes saillies comprises, et 4 m. 35 de haut. L'ossature et le bordage sont en acier. La hauteur étant beaucoup plus petite que la largeur, les entretoises sont verticales.

Le cadre est formé par quatre poutres, assemblées au moyen de simples cornières, mais les assemblages sont consolidés sur la face aval par des goussets. Ces poutres ont uniformément 0 m. 35 de hauteur perpendiculairement aux faces du vantail, et sont composées de tôles et de cornières. Le poteau tourillon est un \square de $\frac{350 - 150}{10}$ avec cornières de $\frac{70 - 70}{7}$ aux angles intérieurs; le poteau busqué est un \mathbf{I} composé d'une âme de $\frac{330}{10}$, de quatre cornières de $\frac{70 - 70}{7}$ et de deux semelles de $\frac{200}{10}$. L'entretoise supérieure, en \mathbf{I} , comprend une âme de $\frac{330}{10}$, quatre cornières de $\frac{90 - 90}{9,75}$ et deux semelles de $\frac{240}{10}$; l'entretoise inférieure, également en \mathbf{I} ,

1. Renseignements fournis par le service.

comprend une âme de $\frac{330}{10}$, quatre cornières de $\frac{70-70}{7}$ et deux semelles de dix millimètres d'épaisseur, ayant respectivement 0 m. 20 de largeur à l'amont et 0 m. 25 à l'aval.

Les entretoises verticales, au nombre de trois, divisent l'intérieur du cadre en quatre panneaux de même largeur; elles se composent d'une âme de $\frac{330}{7}$ et de quatre cornières de $\frac{70-70}{7}$; elles sont reliées par cinq membrures horizontales (□ de 60 millimètres de largeur), destinées uniquement à soutenir le bordage et espacées de manière à supporter sensiblement la même charge. L'ossature est complétée par deux pièces diagonales (□ de 110 millimètres de largeur), fixées par leurs extrémités sur les goussets qui consolident les angles du cadre à l'aval et reliant les entretoises entre elles. Pour préserver toutes les pièces de l'ossature contre les chocs des bateaux, les entretoises portent sur la face aval des fourrures en bois d'épaisseur suffisante.

Le bordage est en tôle plane de 7 millimètres d'épaisseur.

Les fourrures en bois enchassées dans les poteaux busqués ¹ ne donnent lieu à aucune observation, non plus que celles qui sont appliquées sur la face aval de l'entretoise inférieure et du poteau tourillon; mais ce dernier, pour reporter la pression du vantail sur le fond de l'enclave, est muni, au lieu de disques métalliques, d'une fourrure en bois continue, solidement boulonnée, reproduisant exactement le poteau tourillon de la porte en bois qui existait antérieurement. Grâce à cette disposition, le chardonnet et l'enclave ont pu être conservés sans changement ainsi que le collier et tous les mécanismes de manœuvre. De cette manière, on a évité non seulement une dépense sérieuse, mais encore une longue interruption de navigation.

1. Ces fourrures sont entaillées dans le bas pour laisser passer la chaîne de touage, comme nous l'avons déjà vu à la porte d'amont de l'écluse de Péchoir.

Entre les entretoises verticales d'une part, entre l'entretoise inférieure et le deuxième cours de pièces horizontales destinées à soutenir le bordage, d'autre part, sont ménagées deux baies rectangulaires mesurant respectivement 1 m. 432 de large sur 0 m. 915 de haut. Elles sont munies de ventelles tournantes, à jalousies, laissant au passage de l'eau une surface libre totale de 1 m² 9308 par vantail.

La passerelle de service, composée de madriers en bois fixés sur des consoles métalliques, mesure 0 m. 50 de large en dehors du garde-corps placé à l'amont.

168. Rigidité. Etanchéité. — Au point de vue de la rigidité, les vantaux métalliques ne laissent rien à désirer. Tandis que dans les vantaux en bois, les assemblages des différentes pièces de l'ossature constituent toujours autant de points faibles, ici ces assemblages peuvent, au gré du constructeur, devenir les points les plus forts du système. En outre, le bordage en métal, en établissant une solidarité complète entre toutes les pièces de l'ossature, est un élément de rigidité incomparable.

D'autre part, le bordage métallique est d'une étanchéité absolue.

169. Durée. — L'expérience qu'on a des portes métalliques est aujourd'hui suffisante pour permettre de constater qu'elles donnent des résultats excellents au point de vue de la durée. Il nous suffira de citer les deux exemples suivants.

Des portes avec ossature en *fonte* et bordage en tôle ont été établies, à une époque relativement éloignée, sur le canal du Nivernais; 132 vantaux de ce type étaient encore en service à la fin de 1897; les plus anciens remontaient à 1828, les plus récents à 1837. L'emploi de la fonte pour l'ossature n'est, assurément, pas à recommander; la longue durée de ces portes n'en est que plus remarquable.

Les portes métalliques de la Marne ont aujourd'hui une

quarantaine d'années ; elles ont toujours fait et continuent à faire un excellent service. Cependant la faible épaisseur du bordage, qui n'a que 4 mm. quand tous les autres fers en ont au moins 6, est à regretter et favorise certainement l'usure.

Alternativement pressé par l'eau, quand la porte est en charge, et abandonné à lui-même, quand le niveau est le même des deux côtés, le bordage prend successivement une forme bombée et plane entre les entretoises. Encastré qu'il est, d'ailleurs, sur chacune de ces pièces, il se déforme avec peine dans l'intervalle qui les sépare ; il revient à sa position normale aussitôt qu'il le peut ; mais ces déformations sont accompagnées de bruits et de vibrations qui témoignent d'un travail moléculaire énergique. A la longue, certaines tôles se sont coupées, comme à l'emporte-pièce, sur les arêtes des ailes des **I** formant les entretoises ; on a dû les remplacer, mais la réparation s'est faite sans difficulté.

On peut éviter ces déformations, soit en employant des tôles embouties comme au canal du Centre, soit en augmentant l'épaisseur du bordage comme sur la Haute-Seine. Il peut être bon également d'arrondir les arêtes des ailes des **I** constituant les entretoises.

Dans tous les cas, il est prudent d'augmenter l'épaisseur du bordage pour mieux résister, le cas échéant, aux effets de l'oxydation qui reste toujours le grand ennemi des constructions métalliques.

On s'appliquera d'ailleurs à prévenir ces effets par une peinture ou un goudronnage soigneusement entretenus et mieux encore par la galvanisation, si les circonstances permettent de recourir à ce dernier procédé. On sait, en effet, que, pour être efficace, la galvanisation doit être opérée seulement sur des pièces complètement terminées, dans l'espèce, sur des vantaux entièrement achevés. Les usines qui possèdent l'outillage nécessaire ne sont pas nombreuses.

170. Spécimens de portes mixtes. — *Porte d'aval* ¹ *de l'écluse d'Ablon, sur la Haute-Seine* ². — Largeur de l'écluse, 12 mètres ; hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc, 4 m. 90 ; chute normale, 4 m. 84 ; mouillage sur le busc, 2 m. 01 (pl. LXIII, page 366).

Construites en 1881, au lendemain et d'après les résultats des expériences de M. l'inspecteur général Guillemain, les portes de l'écluse d'Ablon constituent un type classique pour les portes mixtes, comme celles de l'écluse de Charenton pour les portes métalliques.

Chaque vantail mesure 6 m. 83 ³ de largeur, toutes saillies comprises, et 4 m. 85 de hauteur.

Le cadre est formé de quatre poutres en **I**, de 0 m. 40 de hauteur totale, composées savoir : l'entretoise supérieure, d'une âme de $\frac{384}{9}$, de quatre cornières de $\frac{80 \times 80}{10,5}$ et de deux semelles de $\frac{300}{8}$; l'entretoise inférieure, le poteau tourillon et le poteau busqué, d'une âme de $\frac{324}{8}$, de quatre cornières de $\frac{80 \times 80}{10,5}$ et de deux semelles de $\frac{300}{8}$, la largeur de ces dernières étant divisée en deux parties inégales par l'axe de la poutre (0 m. 11 vers l'extérieur du cadre et 0 m. 19 vers l'intérieur).

Une entretoise de soulagement verticale, composée d'une âme de $\frac{384}{8}$, de quatre cornières de $\frac{100 \times 100}{11}$ et de deux semelles de $\frac{350}{8}$, décompose le vantail en deux panneaux qui sont, à leur tour, divisés chacun en deux, par une poutre

1. A l'écluse d'Ablon, il n'y a pas de mur de chute ; les portes d'amont et d'aval sont identiques.

2. Notice sur les portes de l'écluse d'Ablon, par M. l'ingénieur Lavollée ; *Annales des Ponts et Chaussées*, 1892, 1^{er} semestre.

3. Cette largeur, mesurée suivant la ligne CD du dessin, devrait, en réalité, être augmentée de quelques centimètres, pour tenir compte du passage réservé à la chaîne de touage.

horizontale formée d'une âme de $\frac{384}{8}$, de quatre cornières de $\frac{60 \times 60}{8}$ et de deux semelles de $\frac{300}{8}$.

Les quatre nouveaux cadres ainsi constitués ont été traités comme les précédents et sont soutenus, en leur milieu, par quatre poutres verticales formées de simples cornières de $\frac{60 \times 60}{8}$ réunies par un treillis.

La carcasse métallique a été consolidée par de forts goussets établis aux quatre angles et aux extrémités de la poutre horizontale médiane, par un bracon, par une double écharpe et enfin par deux pièces de tôle centrales auxquelles on a relié toute l'armature.

Le bordage est formé de madriers de chêne verticaux de 0 m. 40 d'épaisseur.

Les dispositions adoptées pour les poteaux tourillons et busqués ne diffèrent de celles de la porte d'aval de l'écluse de Charenton que sur un point ; les fourrures des poteaux busqués sont entaillées à leur partie inférieure pour laisser passer la chaîne de touage.

A la partie inférieure de chaque vantail, de part et d'autre de l'entretoise de soulagement, sont disposées deux vannes pleines fermant, chacune, deux orifices 0 m. 60 de large sur 0 m. 80 de haut. La surface libre pour le passage de l'eau est donc, en tout, de 4 m² 96 par vantail. Ces vannes sont manœuvrées au moyen de vilbrequins.

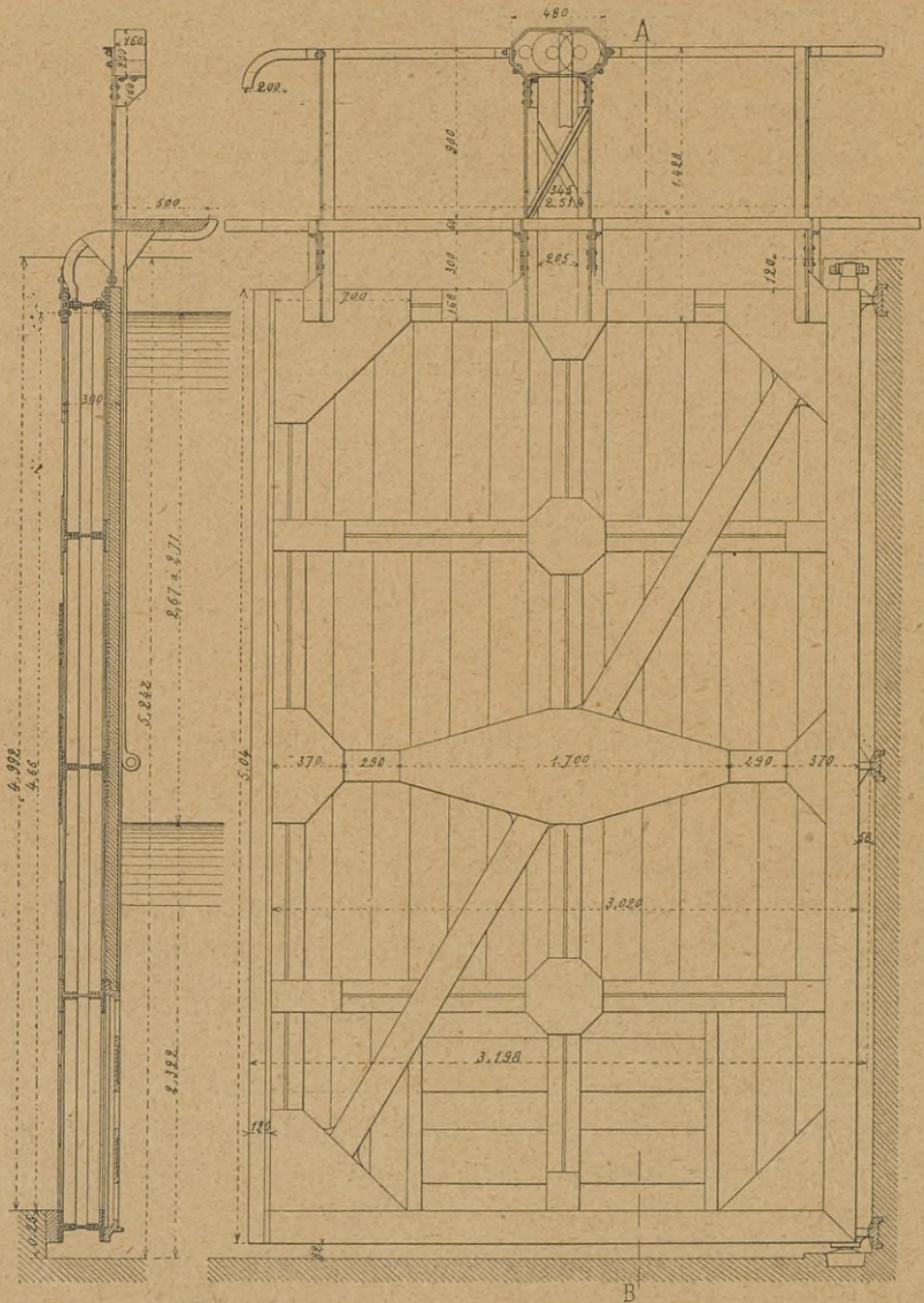
La passerelle de service, en madriers de chêne, est supportée par des consoles métalliques ; elle mesure 0 m. 50 de largeur et est pourvue d'un garde-corps unique du côté d'amont.

Porte d'aval d'une écluse du canal de l'Aisne à la Marne ¹.
— Largeur de l'écluse, 5 m. 20 ; hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc, 4 m. 992 ; chute variable

1. Renseignements fournis par le Service.

COUPE AB

ÉLEVATION D'UN VANTAIL VU D'AVAL



entre 2 m. 67 et 2 m. 71 ; mouillage sur le busc, 2 m. 072 (pl. LXIV). L'application de ce type au canal de l'Aisne à la Marne a été autorisée par décision du 28 mai 1884 ; 40 portes ont été posées en 1882 et 1883.

Chaque vantail mesure 3 m. 198 de largeur, toutes saillies comprises, et 5 m. 04 de hauteur ; l'ossature est en fer.

La hauteur étant beaucoup plus grande que la largeur, l'entretoise de soulagement est horizontale. Elle divise le vantail en deux panneaux ; chacun d'eux est soutenu en son milieu par une pièce verticale et une pièce horizontale en croix, et se trouve ainsi subdivisé en quatre.

Toutes les pièces verticales et horizontales de l'ossature ont la forme d'un **I** composé d'une âme de $\frac{224}{8}$ et de quatre cornières de $\frac{80 \times 80}{8}$, ces dernières renforcées, en tant que de besoin, par des semelles de $\frac{168}{8}$.

Cette ossature est d'ailleurs consolidée par une double écharpe de $\frac{160}{8}$ et par de forts goussets, en tôle de 8 millimètres d'épaisseur, établis sur les deux faces à tous les points de rencontre des pièces horizontales et verticales. Les goussets disposés au centre du vantail constituent de véritables semelles supplémentaires pour l'entretoise de soulagement, qui se trouve ainsi singulièrement renforcée.

Le bordage, en madriers de chêne verticaux, mesure 0 m. 06 d'épaisseur ; la disposition des poteaux tourillon et busqué et celle des fourrures en bois au pourtour du vantail, sur la face aval, n'appellent aucune observation.

A la partie inférieure de chaque vantail, à cheval sur la pièce verticale médiane, est installée une ventelle à jalousies, en fer et fonte, offrant au passage de l'eau une surface libre totale de 0 m² 7292 ; cette ventelle est manœuvrée au moyen d'un cric.

La passerelle de service est formée de madriers en bois de

chêne soutenus par des consoles métalliques ; elle est munie d'un garde-corps unique vers l'aval ; sa largeur est de 0 m. 50.

Porte d'amont de l'écluse de Monéteau, sur l'Yonne (2^e section) ¹. — Largeur de l'écluse, 40 m. 50 ; hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc, 3 m. 96 ; chute normale, 4 m. 82 ; mouillage sur le busc, 3 m. 43 (pl. LXV) ; porte construite en 1896.

Chaque vantail mesure 5 m. 957 de largeur, toutes saillies comprises, et 3 m. 960 de hauteur ; l'ossature est entièrement en acier.

Le cadre est formé de quatre poutres composées essentiellement, chacune, d'un **I** de $\frac{300 \times 145}{11 \times 10}$ et de deux semelles de $\frac{200}{6}$. Des semelles supplémentaires sont ajoutées dans cer-

taines parties, soit sur une face soit sur l'autre, suivant les exigences de la résistance ou les convenances de l'assemblage.

Une entretoise de soulagement verticale, constituée par un **I** de $\frac{300 \times 145}{11 \times 10}$ et deux semelles de $\frac{250}{6}$, décompose le vantail en deux panneaux qui sont, à leur tour, divisés chacun en deux par une poutre horizontale de même section que l'entretoise de soulagement.

Des quatre nouveaux cadres ainsi formés, les deux inférieurs sont traversés, en leur milieu, par deux **I** verticaux de $\frac{300 \times 145}{11 \times 10}$ renforcés, en tant que de besoin, par des semelles de $\frac{145}{6}$; les deux supérieurs sont traversés diagonalement

par un bracon en **I** de $\frac{300 \times 145}{11 \times 10}$ et par deux écharpes de $\frac{145}{6}$.

La carcasse métallique est consolidée sur les deux faces par de forts goussets établis à tous les points de rencontre des pièces horizontales et verticales désignées ci-dessus, notamment au centre du vantail.

1. Renseignements fournis par le Service.

Le bordage, en madriers de chêne verticaux, mesure 0 m. 05 d'épaisseur ; la disposition des poteaux tourillon et busqué et celle des fourrures en bois au pourtour de chaque vantail, sur la face aval, ne donnent lieu à aucune observation.

A la partie inférieure de chaque vantail, de part et d'autre de l'entretoise de soulagement, sont ménagées deux baies de 1 m. 1825 de large sur 1 m. 080 de haut, munies de ventelles à jalousies en fonte offrant au passage de l'eau une surface libre totale de 4 m² 0593. Ces ventelles sont manœuvrées au moyen de crics.

La passerelle de service, entièrement métallique, est munie de deux garde-corps ; sa largeur est de 0 m. 70 hors garde-corps.

Porte d'aval de l'écluse de Jussy, sur le canal de Saint-Quentin ¹. — Largeur de l'écluse, 6 mètres ; hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc, 6 m. 30 ; chute normale, 3 m. 20 ; mouillage sur le busc, 2 m. 50 (pl. LXVI). Le projet des portes de cette écluse a été approuvé par décision ministérielle du 25 janvier 1902.

Chaque vantail mesure 3 m. 6317 de large, toutes saillies comprises, et 6 m. 805 de haut.

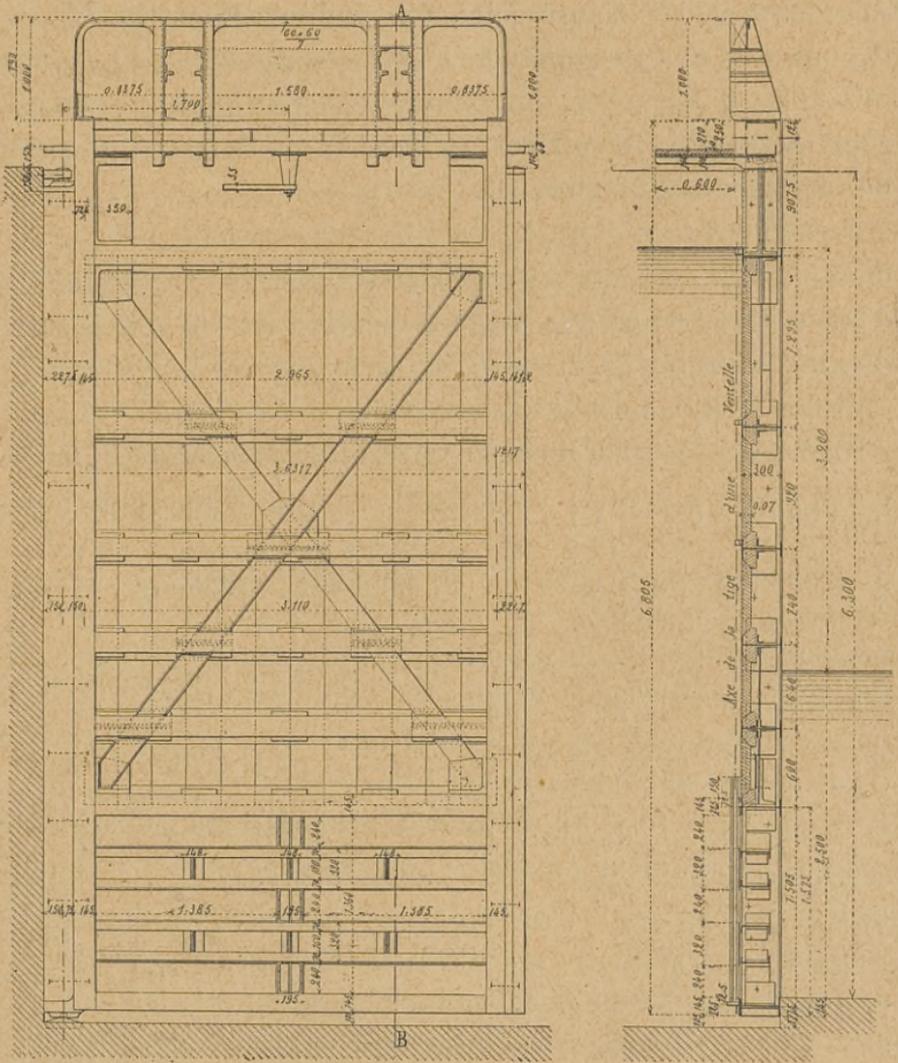
Des quatre côtés du cadre, trois, les poteaux tourillon et busqué et l'entretoise inférieure, sont des fers à **I** de $\frac{300 \times 145}{41}$; l'entretoise supérieure, de 0 m. 25 de hauteur, est composée de deux fers à **L** de $\frac{250 \times 80}{40}$ tournant leurs branches l'un vers l'autre et solidement entretoisés.

Les entretoises intermédiaires, horizontales, sont au nombre de huit. Si on leur donne des numéros, de 1 à 8, en allant de bas en haut, les entretoises numéros 1 et 2 sont formées chacune de deux fers à **L** de $\frac{250 \times 80}{40}$ réunis du côté d'amont par une semelle de $\frac{320}{40}$; les numéros 3 à 8 sont des fers à **I**

1. Renseignements fournis par le Service.

ÉLÉVATION D'UN VANTAIL VU D'AVANT

COUPE AB



PI. LXVI. PORTE D'AVANT DE L'ÉCLUSE DE JUSSY,
SUR LE CANAL DE SAINT-QUENTIN

de $\frac{300 \times 145}{11}$. Les vides entre l'entretoise inférieure et l'entretoise intermédiaire numéro 1, d'une part, entre les numéros 1 et 2, 2 et 3, d'autre part, sont uniformément de 0 m. 24. Du numéro 3 au numéro 8, l'espacement entre deux entretoises intermédiaires consécutives augmente, au fur et à mesure que leur profondeur d'immersion au-dessous du niveau du bief supérieur diminue.

Les entretoises de toute sorte sont assemblées avec les montants au moyen d'équerres en tôle de 16 millimètres d'épaisseur. Les assemblages de l'entretoise supérieure ainsi que des entretoises intermédiaires numéros 3 et 8 sont, en outre, consolidés par forts goussets en tôle et cornières.

Les pièces essentielles de l'ossature comprennent encore un bracon (fer en \sqsubset de $\frac{200 \times 07}{8,5}$) et une écharpe (fer plat de $\frac{180}{8}$), assemblés entre eux à leur point de rencontre et fixés, par leurs extrémités, aux goussets d'assemblage des entretoises numéros 3 et 8 avec les montants. Ces deux pièces sont d'ailleurs entièrement logées à l'intérieur du cadre, de part et d'autre du plan médian du vantail.

Le bordage aussi est à l'intérieur du cadre ou, plus exactement, son parement antérieur affleure le parement amont du cadre. A cet effet, les madriers verticaux, de 0 m. 07 d'épaisseur, qui le composent, sont discontinus et fixés par chaque extrémité sur des longrines en bois soutenues par des tasseaux en métal fixés aux différentes entretoises intermédiaires. L'avantage de cette disposition, complétée par la suppression de toute fourrure interposée entre le vantail et les maçonneries, le long du chardonnet et du busc, est de réduire autant que possible l'épaisseur des vantaux et, par conséquent, la profondeur des enclaves.

Suivant une disposition, dont nous avons déjà vu un exemple à l'écluse de Varennes, sur la Haute-Seine (page 362), la pression du vantail est reportée sur le bajoyer au moyen

d'un poteau tourillon en bois, identique à celui des portes en bois, boulonné sur le montant en fer correspondant. Le poteau busqué n'appelle aucune observation particulière.

Les poteaux tourillon et busqué, dans leur partie inférieure, avec l'entretoise inférieure et les entretoises intermédiaires numéros 1, 2 et 3, constituent la partie fixe d'une double ventelle à jalousies de dimensions exceptionnelles. Les vides, au nombre de six, mesurent chacun 1 m. 385 de long sur 0 m. 24 de haut; la surface totale est de 1 m² 9944.

La passerelle de service, en bois de sapin, fixée par des consoles à la face inférieure de l'entretoise supérieure, est large de 0 m. 60. Le garde corps, qui sert en même temps de support aux crics de manœuvre des ventelles, est constitué, d'une façon particulièrement robuste, au moyen de tôles et de fers spéciaux.

171. Rigidité, étanchéité, durée. — Dans les portes mixtes, on ne saurait compter sur le bordage pour augmenter la rigidité des vantaux, mais en consolidant les assemblages, notamment au moyen de goussets de dimensions suffisantes, on peut obtenir une ossature aussi rigide que l'on veut.

L'étanchéité ne peut être que celle d'un vantail en bois.

La durée de l'ossature sera celle du métal, la durée du bordage celle du bois, la première incomparablement plus grande que la seconde. Il a toujours été dans la pensée des partisans du système mixte que l'ossature userait plusieurs bordages; on doit donc adopter des dispositions qui rendent aussi facile que possible le remplacement de ce dernier.

§ 3

ORGANES ET APPAREILS DE MANŒUVRE

172. Position de l'axe de rotation. — Aux extrémités du poteau tourillon se trouvent les organes nécessaires

pour permettre et rendre aisés les mouvements du vantail. Ce sont : à la partie inférieure, la *crapaudine* fixée au vantail et le *pivot* scellé dans le radier de la chambre de la porte ; à la partie supérieure, le *tourillon* fixé au vantail et le *collier* scellé dans le couronnement du bajoyer.

Ces différents organes doivent être disposés de manière que l'*axe de rotation* soit rigoureusement vertical. S'il en était autrement, le mouvement du vantail aurait pour conséquence un déplacement en hauteur du centre de gravité ; le vantail serait très dur à manœuvrer dans un sens et pourrait être entraîné par son propre poids dans l'autre.

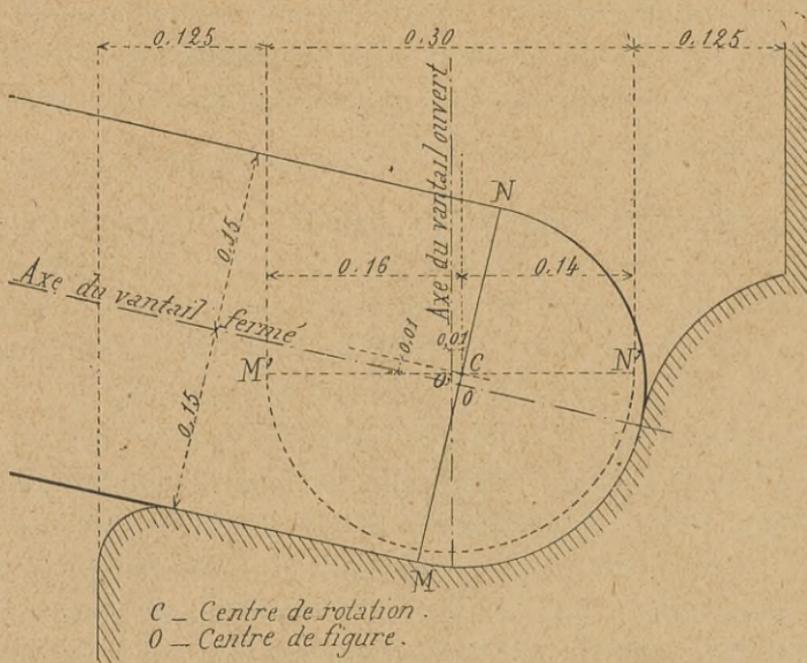


Fig. 77.

Considérons d'abord un vantail en bois ; la partie extérieure du poteau tourillon affecte une forme demi-circulaire. Lorsque le vantail est fermé, il doit, non-seulement s'appuyer par sa face aval sur le chardonnet, mais encore buter de toute sa hauteur contre le fond de l'enclave ; en d'autres termes la maçonnerie doit épouser exactement la forme du poteau tou-

cette disposition est favorable à l'équilibre. Le vantail étant plus chargé sur sa face amont que sur sa face aval, par suite de la présence du bordage, des ventelles, etc., l'excentricité rapproche l'axe de rotation du plan vertical parallèle aux faces, passant par le centre de gravité.

Avec les portes métalliques ou mixtes, lorsque la butée contre le fond de l'enclave se produit au moyen d'un certain nombre de disques métalliques fixés au vantail, qui viennent au contact de heurtoirs scellés dans la maçonnerie, mais seulement lorsque le vantail est fermé, l'excentricité de l'axe de rotation n'est plus indispensable, ainsi que le montre l'épure du chardonnet de l'écluse de Charenton (fig. 78).

173. Pivot et crapaudine. — Le pivot, pièce verticale en forme de cylindre ou de tronc de cône, terminé par un segment sphérique, est porté par une embase, avec laquelle il est généralement venu de fonte, encastree et scellée dans la bourdonnière. La forme de l'embase doit être telle que tout déplacement de la pièce dans l'encastrement soit impossible. Quelquefois le pivot et son embase forment deux pièces assemblées mais distinctes, de façon que la première (la seule qui s'use) puisse être remplacée sans desceller la seconde.

Dans les portes en bois, la crapaudine consiste en un sabot métallique qui reçoit l'extrémité inférieure du poteau tourillon, ou, mieux, embrasse tout l'assemblage de ce poteau avec l'entretoise inférieure. Elle présente, en-dessous, une cavité qui coiffe le pivot. Cette cavité se termine par un segment de sphère de diamètre un peu supérieur à celui de la partie supérieure du pivot, de manière à réduire autant que possible la surface de contact. Les dispositions de détail et les dimensions de ces deux pièces peuvent varier à l'infini ; nous donnons comme spécimen le pivot et la crapaudine d'un vantail des anciennes portes du grand sas de l'écluse du Haut-Pont sur l'Aa (fig. 79).

Quand il s'agit d'une porte métallique ou mixte, la cavité

formant la partie essentielle de la crapaudine est pratiquée dans la branche horizontale d'une robuste équerre en fonte ou en acier, qui embrasse l'angle formé par le poteau tourillon et l'entretoise inférieure et qui est boulonnée sur ces deux pièces. Cette branche horizontale se prolonge d'ailleurs vers l'extérieur pour former un des disques qui reportent la butée du vantail contre le fond de l'enclave. A titre de spécimen, la planche LXVII, page 381, reproduit le pivot et la crapaudine d'un des vantaux de la porte d'aval de l'écluse de Charenton.

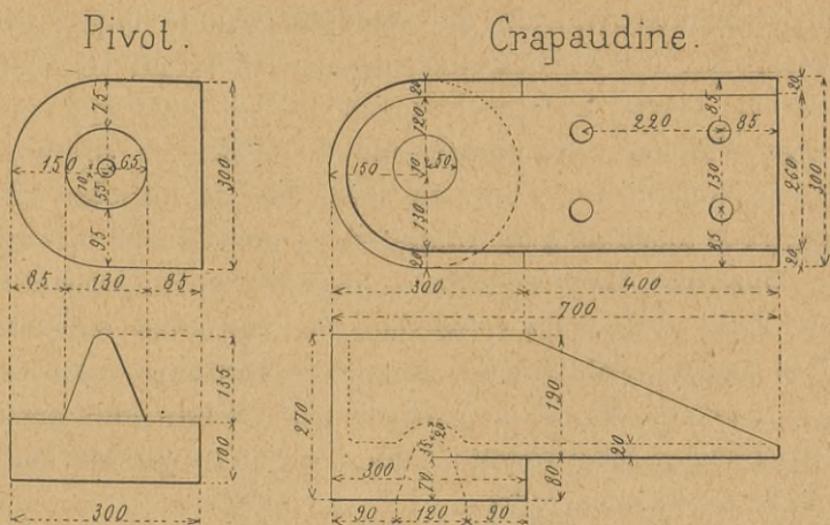


Fig. 79

174. Tourillon et collier. — Le *tourillon* consiste essentiellement en un cylindre vertical fixé à la partie supérieure du vantail ; il est embrassé par le *collier* fixé lui-même aux maçonneries. La hauteur et le diamètre du tourillon peuvent varier dans des limites fort étendues, mais ce qui est essentiel c'est que l'axe de cette pièce coïncide rigoureusement avec l'axe de rotation du vantail.

Quand il s'agit d'une porte en bois, on se contente parfois d'arrondir le poteau tourillon sur une certaine hauteur pour former le tourillon ; la planche LV (page 335) en montre un

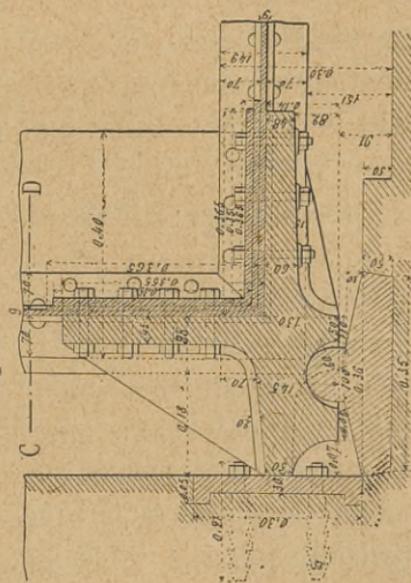
exemple. Il est de beaucoup préférable de coiffer le poteau tourillon d'un chapeau en fonte, dans lequel il pénètre par son extrémité et dont la partie supérieure forme le tourillon (voir la planche LVI à la page 337, ou mieux la planche LXXII à la page 406). On pourrait encore citer bien d'autres dispositions, mais ce qui est à recommander dans tous les cas, quand il y a des écharpes, c'est qu'elles aient leur point d'attache supérieur sur les pièces métalliques qui constituent ou fixent le tourillon.

Quand il s'agit d'un vantail métallique ou mixte, le tourillon fait partie d'une équerre qui embrasse l'angle formé par le poteau tourillon et l'entretoise supérieure et qui est fixé sur ces deux pièces. La branche horizontale de cette équerre s'allonge d'ailleurs vers l'extérieur et dessine le contour du poteau tourillon. A titre de spécimen, la planche LXVII montre le tourillon d'un vantail de la porte d'aval de l'écluse de Charenton. Dans l'espèce, la pièce est en fer forgé et a pu être rivée sur le poteau tourillon et l'entretoise supérieure. Il est difficile d'obtenir à la forge une pièce aussi mouvementée, aussi considère-t-on généralement comme plus pratique de la faire en acier fondu ; alors, c'est au moyen de boulons qu'elle est fixée au cadre.

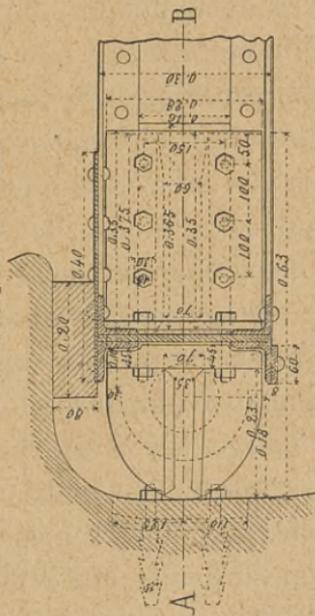
Le collier doit nécessairement présenter une partie circulaire qui embrasse le tourillon. Le centre de cet arc de cercle et le point de contact de la crapaudine avec le pivot déterminent l'axe de rotation, qui doit être rigoureusement vertical.

On conçoit aisément que le collier pourrait être constitué par une seule barre de fer méplat suffisamment longue, incurvée comme il a été dit ci-dessus dans sa partie médiane, et dont les parties extrêmes formant les branches ou tirants du collier seraient scellées dans les maçonneries. Habituellement, bien que ce soit loin d'être une règle absolue, ces tirants, une fois fixés, sont parallèles l'un au bûsc et l'autre au bajoyer, c'est-à-dire aux positions respectives du vantail fermé et ouvert.

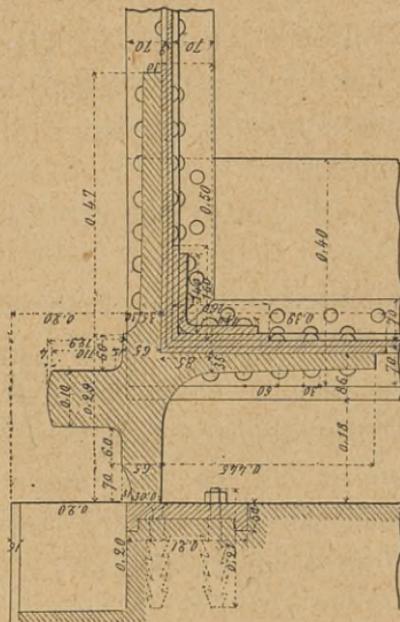
Coupe suivant AB



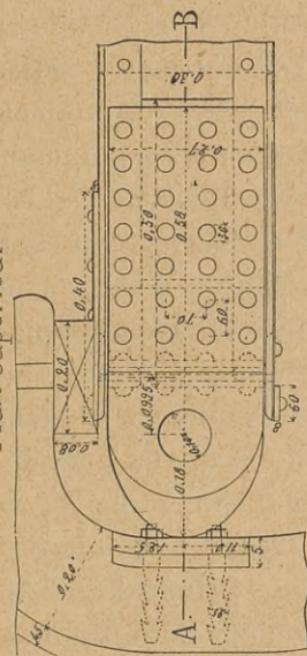
Plan suivant CD



Coupe suivant AB



Plan supérieur



PIVOT ET CRAPAUDINE

TOURILLON

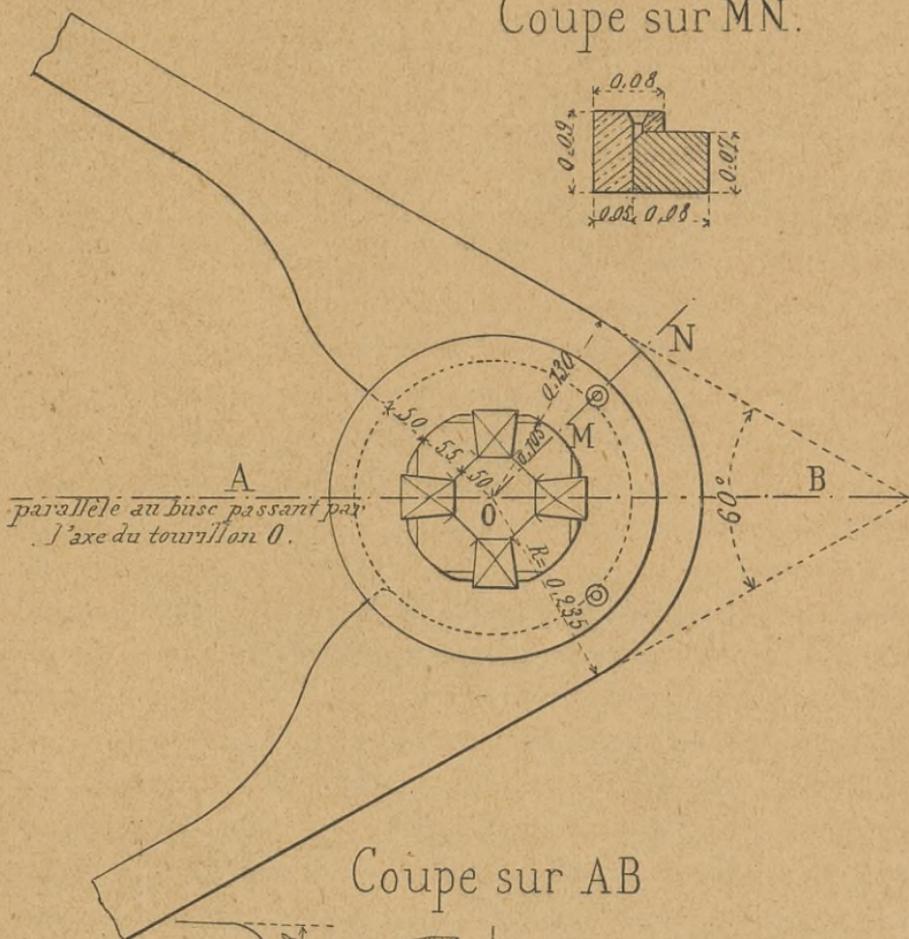
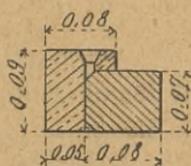
Il n'est pas sans exemple que cette solution d'une extrême simplicité ait été appliquée. D'autre part, autrefois, on croyait nécessaire de fixer le collier aux maçonneries avec un excès de solidité. A cet effet on donnait aux tirants une longueur considérable, qui les rendait même difficiles à placer dans certaines circonstances ; on multipliait les scellements en donnant aux boulons une longueur exagérée ; quelquefois même on noyait les tirants dans la maçonnerie. Il en est résulté de grands embarras dans le service de l'entretien, par suite de l'impossibilité d'enlever un vantail, pour le remplacer ou le réparer, sans être obligé de briser les scellements ou même de démolir une partie du bajoyer. Pour se mettre à l'abri de ces inconvénients, d'autant plus sérieux qu'on hésite davantage aujourd'hui à imposer des interruptions à la navigation, voici les précautions à prendre.

Le collier se compose de deux parties, l'une mobile qui embrasse le tourillon, l'autre fixe et scellée aux maçonneries, réunies l'une à l'autre au moyen de clavettes, de tiges filetées avec écrous ou par tout autre procédé qui permet de détacher la partie mobile sans toucher à la partie fixe. En outre, les scellements de la partie fixe sont toujours faits au sommet des bajoyers, dans le couronnement lui-même, sauf à pratiquer dans la pierre les refouillements nécessaires et à les recouvrir de plaques de tôle ou de fonte affleurant exactement le parement de ce couronnement.

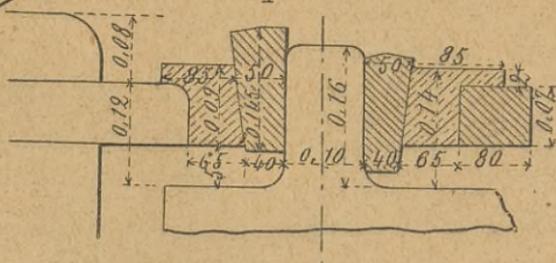
Pour être complètement satisfaisant, un collier doit, en outre, posséder des moyens de réglage qui permettent, soit au moment de la pose, soit même quand le vantail est en service, d'obtenir l'absolue verticalité de l'axe de rotation dudit vantail. Parmi les nombreuses dispositions imaginées pour satisfaire à cette condition, nous en indiquerons deux qui mettent en œuvre des procédés complètement différents.

A l'écluse d'Ablon (pl. LXVIII), c'est une même pièce de fer, de 0 m. 07 d'épaisseur, qui constitue, pour chaque vantail, le collier proprement dit et ses tirants. Pour former le collier

Coupe sur MN.



Coupe sur AB



PI. LXVIII. COLLIER DES PORTES DE L'ÉCLUSE D'ABLON, SUR LA HAUTE-SEINE.

proprement dit, la pièce de fer s'évide, sur un peu plus de trois quarts de cercle, en un cylindre de 0 m. 31 de diamètre intérieur, dans lequel s'emboîte et tourne une douille concentrique en bronze de 0 m. 24 de diamètre intérieur. Le tourillon, de forme octogonale, passe à l'intérieur de la douille et y est calé, suivant les exigences de la pose du vantail, au moyen de quatre clavettes dont les faces opposées s'appuient, chacune, sur un côté de l'octogone et sur un pan coupé ménagé dans la

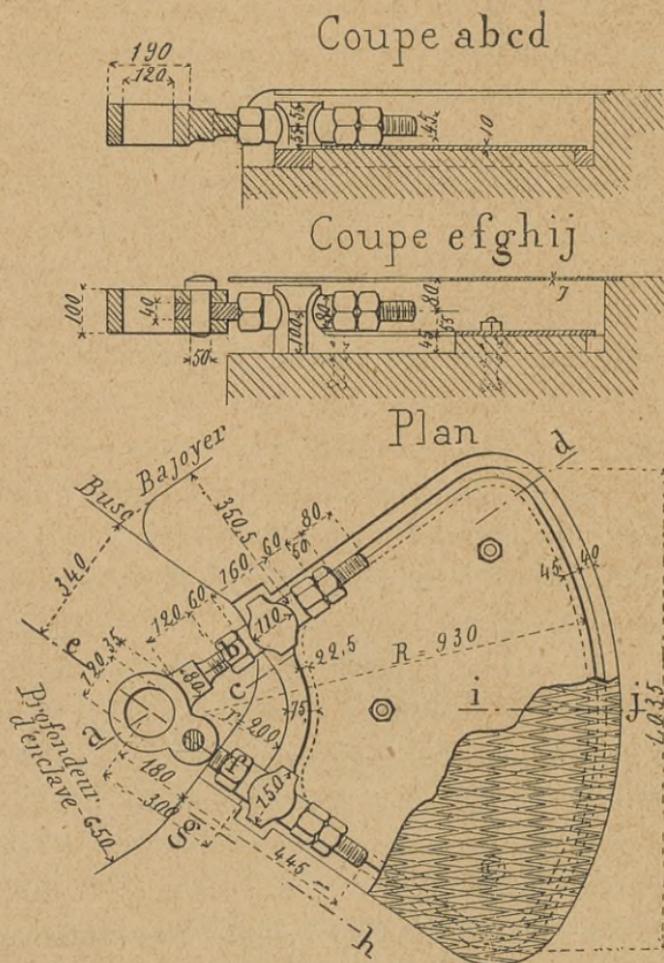


Fig. 80.

surface intérieure de la douille. Il suffit que le centre de cette dernière, c'est-à-dire le centre du collier proprement dit, soit

bien exactement sur la même verticale que le centre du pivot, et cela est facile à réaliser ¹, pour que l'*axe de rotation du vantail soit rigoureusement vertical, alors même que l'axe de figure du poteau tourillon ne le serait pas.*

Aux écluses du canal du Centre, au contraire, le tourillon de chaque vantail, cylindre de 0 m. 12 de diamètre extérieur, s'emboîte exactement dans le collier, douille de 0 m. 12 de diamètre intérieur, et c'est par des déplacements horizontaux de ce collier que l'on peut obtenir le réglage.

Les tirants et la pièce d'ancrage sont entièrement logés dans un refouillement du couronnement que recouvre une plaque de tôle striée (fig. 80).

La pièce d'ancrage, en forme de trapèze curviligne, est encastrée dans la pierre et maintenue dans son encastrement par une plaque de tôle de dix millimètres d'épaisseur qui, sur tout son pourtour, débordé de 0 m. 0225 sur le fer de l'ancre. Celle-ci porte deux bornes verticales dans lesquelles passent, avec un jeu total de 6 millimètres, les tiges filetées qui constituent les tirants du collier. Ces tiges sont munies d'écrous et de contre-écrous qui permettent d'en faire varier la longueur. Une d'elles est, en outre, formée de deux parties articulées susceptibles de prendre un mouvement angulaire autour d'un axe vertical. Enfin, les rondelles, par l'intermédiaire desquelles les écrous peuvent être serrés sur les bornes, présentent : du côté de ces écrous une surface plane ; de l'autre une surface cylindrique verticale concave, concentrique à la surface cylindrique verticale convexe des parois des bornes. Ces rondelles sont, par suite, susceptibles de se déplacer horizontalement le long des bornes, quand les écrous sont desserrés.

Par le mouvement combiné des écrous et de l'articulation, le centre du collier peut être déplacé horizontalement dans

1. Au moment de sceller le collier, on substitue à la douille en bronze un disque de bois percé en son centre d'un petit trou par lequel on fait passer un fil à plomb, et on déplace le collier jusqu'à ce que la pointe du plomb tombe juste sur le centre du pivot.

tous les sens, dans les limites naturellement fort étroites où il suffit de le faire pour obtenir la verticalité rigoureuse de l'axe de rotation du vantail.

175. Ajustage des vantaux. — Lorsqu'une porte est fermée, chacun des deux vantaux doit s'appliquer exactement sur le chardonnet, sur le busc et sur le vantail opposé. Le *desideratum* est que le contact soit assez parfait pour obtenir une étanchéité complète. Or, quelque soin que l'on apporte aux tracés, un contact aussi parfait ne peut résulter que d'un ajustage extrêmement soigné et pour que cet ajustage soit possible, il convient que, des deux surfaces en contact, une au moins puisse être retouchée.

Quand les portes sont en bois, il suffit de laisser les pièces un peu fortes et d'y noyer les ferrures assez profondément, pour être maître de l'ajustage.

Quand l'ossature est en métal, on interpose le plus souvent des fourrures en bois entre le poteau tourillon et le chardonnet, entre l'entretoise inférieure et le busc et entre les deux poteaux busqués ; on rentre ainsi dans le cas précédent. Est-il besoin d'ajouter que les joints entre ces fourrures et les pièces métalliques doivent être faits de manière à assurer une adhérence complète des unes aux autres ?

Une précaution qu'il est bon de prendre préalablement à la construction des vantaux, toutes les fois que la chose est possible, est de relever directement le *gabarit* exact du busc, pour servir de point de départ à tous les tracés. En exécution, les maçonneries, même les plus soignées, présentent toujours quelques petites différences avec les dessins. Pour insignifiantes qu'elles soient en elles-mêmes, ces différences ne laissent pas d'avoir de l'importance au point de vue de la confection et de la pose des portes. Il est, d'autre part, essentiel que la partie du parement du chardonnet qui doit servir de surface d'appui soit dressée avec le plus grand soin, suivant un plan parfaitement vertical.

Pour la pose d'une porte, chaque vantail est descendu dans son enclave ; on le fait reposer sur son pivot ; le collier est mis en place ; l'axe de rotation est réglé. On approche alors le vantail du busc et on dresse sa face aval au contact dudit busc et du chardonnet, sans se préoccuper du poteau busqué ni de l'autre vantail.

Quand les deux vantaux ont ainsi été dressés séparément, on les rapproche simultanément et on rabote les deux faces opposées des poteaux busqués jusqu'à ce que le contact intime soit réalisé dans ce joint, en même temps que dans les autres.

On peut, sans crainte, faire buter directement le bas de la porte contre le busc si celui-ci est en pierre dure ; mais s'il est en pierre moins résistante, on a toujours à redouter que quelque corps étranger, serré entre la porte et le busc, ne détermine la rupture, sur une certaine longueur, de l'arête saillante de ce dernier, avarie toujours fâcheuse et très difficile à réparer. Pour prévenir ce danger, on scelle, dans la pierre refouillée *ad hoc*, un faux busc en bois, qui a la hauteur de la saillie du busc et une épaisseur variable de 0 m. 20 à 0 m. 30. Cette pièce a encore l'avantage de se prêter à la formation d'un joint étanche, lorsque l'entretoise inférieure en métal porte sur le busc directement, sans interposition de fourrure, ainsi que nous en avons vu un exemple à l'écluse de Jussy, sur le canal de Saint-Quentin.

Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que le faux busc n'est pas, non plus, sans inconvénients ; pour peu qu'il se déplace, le bon fonctionnement de la porte est compromis. C'est un des accidents qui se présentent le plus souvent en cours d'exploitation et qui motivent le plus de chômages, car il est impossible de le réparer sans interruption plus ou moins longue de la navigation. On s'attachera donc, avec un soin extrême, à ce que des scellements parfaitement sûrs maintiennent bien la pièce, tant dans le sens horizontal que dans le sens vertical. Il semble qu'on obtiendrait un supplément de garantie en

inclinant légèrement vers l'amont la face de contact du busc et du faux busc, de manière à former, en quelque sorte, un assemblage en queue d'aronde.

La garniture du joint qui sépare le faux busc du busc devra être particulièrement soignée de manière à arrêter tout passage de l'eau, sans qu'il en résulte cependant des efforts suffisants pour arracher les scellements qui n'ont jamais qu'une solidité relative. On pourra employer le ciment en coulis, le goudron et le brai, le suif. Il n'est pas inutile de rappeler que le suif, très fortement comprimé et maintenu à la température que possède l'eau des rivières et des canaux, acquiert la dureté de certains bois et peut rendre de nombreux services à raison de sa complète imperméabilité.

Le bois employé à la confection du faux-busc doit être de premier choix. La pointe est la partie la plus délicate; aussi quelques ingénieurs conseillent-ils de la faire d'un seul morceau, les deux côtés de l'angle étant ensuite prolongés jusqu'aux bajoyers par des pièces rectilignes. Avec ce dispositif le faux-busc est en trois morceaux et il présente deux assemblages, un sur chaque côté.

Généralement il se fait en deux morceaux seulement, au moyen de deux pièces rectilignes assemblées à mi-bois sur la pointe même, mais alors il peut être bon de consolider l'assemblage par une cornière en fer encastrée sur l'arête en saillie des deux pièces.

On voit quelles précautions minutieuses exige la réalisation de l'objectif indiqué au début de cet article, l'étanchéité des portes d'écluses lorsqu'elles sont fermées. En pratique, il s'en faut que cette étanchéité soit absolue; on pourrait assurément la rendre plus complète par l'emploi du caoutchouc, mais on peut se demander si le bénéfice à recueillir serait en rapport avec les sujétions et la dépense.

176. Engins de manœuvre des vantaux. — Les anciennes portes d'écluse du canal de Saint-Quentin (pl. LV,

page 335) nous donnent un exemple d'un mode de manœuvre très simple qui était jadis très répandu. Le *balancier* offre le double avantage de faire contrepoids au vantail, et de fournir à l'éclusier un bras de levier qui lui permet d'agir directement pour l'ouverture ou la fermeture de la porte. Mais on ne peut pas toujours faire usage des balanciers, à cause de l'espace qu'exigent les pièces en mouvement et de la gêne qu'ils opposent à la circulation des hommes et des chevaux sur les terre-pleins d'écluse.

Leur emploi conduit, en outre, à augmenter de 1 mètre environ la hauteur des poteaux tourillon et busqué, et accroît par suite la difficulté, déjà si grande, de se procurer des bois d'un équarrissage assez fort et d'une longueur suffisante pour ces pièces de sujétion.

On peut encore manœuvrer les vantaux directement et à la main, au moyen de béquilles. Ce sont de simples perches en bois ou des tiges de fer, de fer creux préférablement, munies à un bout d'un crochet attaché à l'entretoise supérieure, vers son extrémité, et à l'autre, d'une poignée. En tirant ou en poussant avec la béquille, l'éclusier fait mouvoir le vantail dans un sens ou dans l'autre.

Cependant, ces procédés de manœuvre directe à la main ne laissent pas d'être assez pénibles, même quand la largeur de l'écluse n'est que de 5 m. 20 et, à plus forte raison, quand elle est plus grande. Ils sont d'ailleurs impraticables tant que la retenue n'est pas absolument effacée ; or, ce sont les dernières phases du remplissage ou de la vidange qui sont les plus longues, parce que la charge se réduit alors à très peu de chose. La manœuvre à la main est donc nécessairement assez lente ; dès que la circulation atteint une certaine activité, il faut avoir recours à des procédés plus rapides.

Aux écluses exceptionnellement fréquentées, le grand nombre des manœuvres et l'intérêt qu'il y a à les abrégier le plus possible peuvent justifier les installations mécaniques les plus perfectionnées. L'eau sous pression a été souvent employée à cet effet.

Aux écluses de Bougival¹, par exemple, tous les mécanismes sont actionnés par l'eau sous pression provenant d'un accumulateur où elle est refoulée, sous une charge de 60 atmosphères, au moyen de turbines mues par la chute du barrage de Marly. L'eau sous pression sert en même temps à mettre en mouvement des cabestans hydrauliques au moyen desquels on accélère l'entrée des bateaux dans les écluses.

Aux écluses du canal Saint-Denis², à celles de la dérivation de la Scarpe autour de Douai³, à la nouvelle écluse de Port à l'Anglais, les vantaux sont commandés directement par des turbines établies pour utiliser la chute des écluses.

Ces installations sont généralement assez coûteuses; c'est ainsi qu'à Bougival la dépense de premier établissement a dépassé 275.000 francs, et que les frais d'exploitation s'élèvent annuellement à 7.200. Leur description détaillée exigerait des développements pour lesquels la place nous fait défaut; il nous suffira d'avoir indiqué, comme nous l'avons fait dans des notes en bas de page, les ouvrages où le lecteur désireux de plus amples renseignements pourra les trouver.

Sans aller jusqu'à l'emploi de ces mécanismes coûteux on se sert le plus souvent, pour manœuvrer les portes, d'arcs dentés ou de crémaillères droites actionnés par un cric qu'un homme met en mouvement.

Les dispositions adoptées varient à l'infini; nous nous contenterons de citer le cric à crémaillère construit pour les écluses du canal de l'Est, à la suite d'un concours, par la *Société alsacienne de constructions mécaniques*, et employé depuis sur un grand nombre de voies navigables. La planche LXIX donne les dispositions d'ensemble d'un des crics de ce type installés à la porte de garde d'aval du tunnel

1. *Collection de dessins distribués aux élèves de l'École des Ponts et Chaussées*, tome III, page 775.

2. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1893, 2^e semestre; note de M. l'ingénieur Maurice Renaud sur les nouvelles écluses du canal Saint-Denis.

3. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1896, 2^e semestre; notice de M. l'ingénieur Barbet sur la dérivation de la Scarpe autour de Douai.

de Saint-Maur, sur le canal de ce nom, lequel est, comme on sait, une dérivation de la Marne canalisée.

La crémaillère est attachée à l'entretoise supérieure du vantail et vient se loger dans un refouillement du couronnement, suffisamment large pour permettre à son extrémité de parcourir la trajectoire qui lui est imposée par la composition du mouvement circulaire du vantail avec le passage de la crémaillère en un point fixe. Ce refouillement, dont la profondeur ne dépasse pas 0 m. 23, est recouvert d'une plaque en tôle striée de 7 millimètres ; aucune partie du mécanisme ne fait saillie, de telle sorte que le terre-plein reste entièrement dégagé. Deux orifices circulaires pratiqués dans la tôle laissent seulement affleurer deux carrés sur l'un desquels on peut, à volonté, placer un levier coudé.

Le premier carré forme l'extrémité de l'arbre vertical d'un pignon qui commande directement la crémaillère, mais, sur ce même arbre est calée une roue dentée, qui engrène avec un autre pignon dont l'arbre vertical se termine par le second carré. On dispose donc de deux forces et de deux vitesses. Quand le levier coudé est placé sur le second carré, l'effort développé peut atteindre 3.000 kilogrammes et permet de vaincre aisément les résistances qui s'opposent à la disjonction des vantaux ; une fois cette disjonction suffisamment prononcée, on termine rapidement l'ouverture de la porte en portant le levier sur le premier carré. C'est également de ce carré qu'on se sert pour la fermeture. Cet ingénieux mécanisme tient tout entier dans une boîte circulaire qui s'oriente à la demande de la crémaillère, dans une *cage pivotante* reposant sur une embase carrée qui n'a pas plus de 0 m. 38 de côté.

En ce qui concerne la hauteur, nous avons déjà dit que tout tenait à l'aise dans un refouillement de 0 m. 23 de profondeur.

Sans entrer dans plus de détails nous croyons pouvoir recommander d'une façon générale l'emploi des crémaillères ; elles sont, en effet, d'une construction beaucoup plus facile et partant bien plus économique que les arcs dentés.

177. Remplissage et vidange du sas. — Nous avons vu que c'est encore, le plus souvent, au moyen de ventelles ménagées dans les portes que s'effectuent le remplissage et la vidange du sas. Il est assurément à désirer que ces manœuvres s'effectuent avec la plus grande célérité possible ; il est d'autre part indispensable que la sécurité des bateaux ne soit pas compromise. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que les bateaux de navigation intérieure ne sont pas toujours d'une construction bien solide ; ils sont parfois chargés outre mesure et souvent munis d'agrès défectueux. La sécurité absolue dont ils jouissent sur les canaux en temps normal ne justifie pas, mais explique cet état de choses.

Quoi qu'il en soit, si, par suite d'une émission trop rapide, l'écoulement de l'eau dans le sas devient tumultueux, il en résulte des oscillations de toute la masse capables de compromettre à la fois le bateau et les portes sur lesquelles il peut se trouver lancé. Il serait donc à désirer que l'écoulement s'effectuât par des orifices un peu étroits, tant que la vitesse est très grande, et par de larges ouvertures quand la chute tend à disparaître.

C'est là un des avantages des aqueducs placés dans les bajoyers des écluses. Ils permettent d'agrandir la section d'écoulement à mesure que la vitesse diminue, et d'atténuer ainsi un des éléments du temps perdu aux écluses.

Toutefois, avant d'aller plus loin, il est essentiel de se bien mettre d'accord sur la manière dont on compte la durée d'un éclusage et dont se répartit cette durée. Pour cela nous examinerons successivement deux cas, celui où les bateaux se suivent dans le même sens et celui où, comme on cherche à le faire autant que possible, on profite d'une même manœuvre pour faire passer deux bateaux marchant en sens contraire. Les chiffres donnés plus loin proviennent de constatations faites, les unes aux écluses à grande chute du canal du

Centre¹, les autres aux écluses de la dérivation de la Scarpe².

Considérons d'abord une série de bateaux se suivant dans le même sens, de bateaux montants, par exemple; le sas de l'écluse est vide, les portes d'aval sont ouvertes, tout est prêt pour recevoir le premier bateau qui s'approche; voici l'ordre et la durée des diverses opérations qui devront s'effectuer avant que les choses se retrouvent identiquement dans le même état pour la réception d'un deuxième bateau montant :

	Canal du Centre		Dérivation de la Scarpe	
	min.	sec.	min.	sec.
Approche du bateau.....	3*	»	1	30
Entrée du bateau.....	4	10	2	»
Fermeture des portes d'aval.....	»	40	»	30
Remplissage du sas.....	3	10	3	30
Ouverture des portes d'amont.....	»	40	»	30
Sortie du bateau.....	5	20	2	»
Fermeture des portes d'amont.....	»	40	»	30
Vidange du sas.....	3	15	3	30
Ouverture des portes d'aval.....	»	40	»	30
Totaux.....	21	35	14	30

Venons maintenant au cas où les bateaux passent alternativement dans un sens et dans l'autre; le sas de l'écluse est vide, les portes d'aval sont ouvertes, tout est prêt pour recevoir un bateau montant; les opérations vont se succéder comme il suit :

1. *Collection de dessins distribués aux élèves de l'École des Ponts et Chaussées*, tome III, p. 854. Nous avons dû combler certaines lacunes dans les chiffres énoncés, au moyen d'évaluations faites par analogie. Les chiffres résultant de ces évaluations sont marqués d'une astérisque.

2. Notice de M. l'ingénieur Barbet sur la dérivation de la Scarpe autour de Douai; *Annales des Ponts et Chaussées*, 1896, 2^e semestre, page 587.

	Canal du Centre		Dérivation de la Scarpe	
	min.	sec.	min.	sec.
Approche du bateau montant.....	3*	»	1	30
Entrée du bateau.....	4	10	2	»
Fermeture des portes d'aval... ..	»	40	»	30
Remplissage du sas.....	3	10	3	30
Ouverture des portes d'amont.....	»	40	»	30
Sortie du bateau.....	5	20	2	»
Eloignement du bateau montant.....	2*	»	1	»
Approche du bateau descendant.....	3*	»	1	30
Entrée du bateau.....	4	10	2	»
Fermeture des portes d'amont.....	»	40	»	30
Vidange du sas.....	3	15	3	30
Ouverture des portes d'aval.....	»	40	»	30
Sortie du bateau.....	5	20	2	»
Eloignement du bateau descendant.....	2*	»	1	»
	38	5	22	0

Si l'on ne considère que les totaux ci-dessus, on voit d'abord que l'intervalle entre deux bateaux marchant dans le même sens est de 14 min. 30 sec. aux écluses de la dérivation de la Scarpe et de 21 min. 35 sec. aux écluses du canal du Centre, ce qui correspond à un débit d'un peu plus de 4 bateaux par heure¹ pour les unes et d'un peu moins de 3 pour les autres. Si on peut profiter d'une même manœuvre pour faire passer deux bateaux marchant dans le même sens, on arrive à débiter près de 6 bateaux par heure aux écluses de la dérivation de la Scarpe, tandis qu'aux écluses du canal du Centre, le débit ne dépasse guère 3 bateaux par heure.

Si on entre dans le détail des chiffres, on reconnaît que la durée des manœuvres d'écluse proprement dites, mouvements d'eau et mouvements des portes, est exactement la même sur les deux voies navigables, 9 min. pour l'une, 9 min. 5 sec. pour l'autre. Ce qui varie dans des proportions énormes, c'est le temps

1. Et *par sas*; les écluses de la dérivation de la Scarpe présentent, en effet, deux sas accolés, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut.

absorbé par les mouvements des bateaux, pour s'approcher de l'écluse et y pénétrer, en sortir et s'en éloigner. Si ces mouvements sont beaucoup plus lents sur le canal du Centre, c'est avant tout que la traction à col d'hommes y est encore pratiquée, tandis que sur la dérivation de la Scarpe les chevaux étaient exclusivement employés lorsque les chiffres cités ci-dessus ont été relevés. La moindre largeur des écluses du canal du Centre (5 m. 20 au lieu de 6 m.) a aussi une influence certaine.

Quoi qu'il en soit, le temps employé aux mouvements des bateaux représente, quand les bateaux marchent dans le même sens, 38 0/0 de la durée totale d'une manœuvre complète aux écluses de la dérivation de la Scarpe, et 58 0/0 à celles du canal du Centre. Quand on peut profiter d'une même manœuvre pour faire passer deux bateaux marchant dans le même sens, les proportions ci-dessus s'élèvent respectivement à 59 et 76 0/0.

Les écluses auxquelles ont été relevés les chiffres précédemment cités présentent, il est vrai, des dispositions très perfectionnées pour le remplissage et la vidange du sas, mais elles ont aussi des chutes exceptionnelles. Si on considérait des écluses de chute moyenne (2 à 3 mètres), où le remplissage et la vidange du sas s'effectuent au moyen de ventelles ménagées dans les vantaux des portes, on arriverait à des constatations du même genre. Il en serait de même *a fortiori* pour les grandes écluses, comme celles de la Seine, où on écluse à la fois un convoi entier; le rangement dans le sas des bateaux réunis en convoi prend nécessairement beaucoup de temps.

La conclusion est que, dans la recherche des moyens à employer pour diminuer le temps perdu par les bateaux aux écluses, il n'y a plus beaucoup à attendre, par rapport à ce qui se pratique aujourd'hui sur les voies à grande fréquentation, de l'accélération des manœuvres d'écluse proprement dites. L'attention des ingénieurs doit, au contraire, se porter d'une façon toute particulière sur les dispositions et les procédés à adopter pour rendre plus faciles et plus rapides les mouve-

ments des bateaux tant aux abords qu'à l'intérieur des écluses¹.

Une autre conclusion, c'est qu'il n'y a vraiment pas un intérêt sérieux à se départir des règles que la prudence conseille pour la manœuvre des appareils de remplissage ou de vidange des sacs et pour celle des portes. Les premiers doivent être ouverts progressivement de manière à éviter les mouvants d'eau tumultueux qui pourraient être dangereux pour les bateaux. Quant aux portes, avant de les ouvrir, il convient d'attendre que l'eau soit bien au même niveau sur l'une et l'autre face. Avec les mécanismes de manœuvre dont on dispose aujourd'hui, il ne serait pas impossible de les ouvrir sous une certaine charge, mais ce ne serait pas sans imposer aux vantaux une torsion dangereuse et cela pour un bénéfice insignifiant sur la durée totale de l'éclusage.

178. Divers types de ventelles. — Les dispositions adoptées pour l'installation des ventelles dans les vantaux des portes d'écluses sont excessivement nombreuses ; il nous suffira de donner quelques indications sommaires sur les types les plus usités.

Les ventelles glissantes ordinaires comportent un orifice unique, fermé au moyen d'une ventelle unique qui doit être levée ou abaissée de toute la hauteur de l'orifice pour en découvrir ou en masquer l'ouverture entière. Il faut à la fois beaucoup de force et de temps pour les manœuvres, mais l'appareil est simple et très étanche.

Les ventelles glissantes à jalousies comportent deux panneaux superposés, l'un fixe, l'autre mobile, présentant l'un et l'autre des vides et des pleins alternatifs. Quand les vides et les pleins des deux panneaux se correspondent, la ventelle est ouverte ; elle est fermée quand les pleins du panneau mobile

1. Dans sa notice, déjà citée, M. Barbet expose qu'on arrive à debiter, aux écluses de la dérivation de la Scarpe, jusqu'à 8 bateaux par heure et par sas, attendu que les bateaux en descente sont le plus souvent vides et peuvent, par suite, se mouvoir avec une rapidité exceptionnelle.

correspondent aux vides du panneau fixe ; et on conçoit qu'il est possible de réduire, pour ainsi dire autant qu'on le veut, l'amplitude du mouvement à imprimer au panneau mobile pour passer d'une position à l'autre. Il faut autant de force qu'avec le type précédent, mais beaucoup moins de temps. L'appareil est plus compliqué et peut être moins étanche ; cependant avec deux panneaux en fonte dressés et rabotés comme des tiroirs de machine à vapeur (pl. LXX), on obtient une grande étanchéité.

L'examen du dessin fait immédiatement ressortir les relations qui doivent exister entre la hauteur des parties vides V , celle des parties pleines P , l'amplitude totale du mouvement du panneau mobile L et la largeur du recouvrement r (le recouvrement est la quantité dont le rebord d'une partie pleine doit dépasser le rebord de la partie vide correspondante, lorsque la ventelle est fermée) :

$$P = V + 2r ; \quad L = V + r.$$

L'emploi de la fonte a un autre avantage ; les surfaces en contact ne comportent aucun assemblage, aucun rivet, aucun boulon dont le moindre dérangement peut compromettre le fonctionnement des ventelles, lorsque celles-ci sont construites en tôle et fers spéciaux ou en fer et bois. Les ventelles en fonte sont à la vérité plus lourdes, mais le poids du panneau mobile peut devenir un auxiliaire, si c'est en l'abaissant qu'on ouvre la ventelle.

Les ventelles tournantes ordinaires comportent un orifice unique, fermé au moyen d'une ventelle unique tournant autour d'un axe placé à peu près au centre de figure. On peut réduire l'effort nécessaire autant qu'on le désire et les manœuvres sont très rapides, mais l'étanchéité laisse beaucoup à désirer.

Les ventelles tournantes à jalousies comportent un orifice unique, au travers duquel passent des lames de tôle susceptibles de tourner, chacune, de 90° autour d'un axe horizontal, sous l'action d'un même levier. Quand les lames sont verti-

cales, elles se joignent par leurs bords taillés en biseau et ferment l'orifice. Elles le démasquent, au contraire, quand elles ont pris la position horizontale (pl. LXXI). La manœuvre est extrêmement facile et rapide, le débouché offert à l'eau est considérable ¹, mais l'étanchéité est médiocre. Ce type de ventelles convient parfaitement aux portes des écluses en rivière.

179. Surface libre offerte par les ventelles. — La surface libre totale offerte à l'écoulement de l'eau par les ventelles ménagées dans une porte d'écluse devrait, semble-t-il, être en rapport avec la surface de la section transversale de la tête de l'écluse, surface égale au produit de la largeur de l'écluse par la hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc. Elle doit aussi, toutes choses égales d'ailleurs, être d'autant plus grande qu'un trafic plus intense réclame plus de rapidité dans les manœuvres. Nous avons réuni dans le tableau ci-après les chiffres relatifs aux diverses portes busquées données plus haut en exemple.

En réalité, il convient de ne pas faire entrer dans le calcul de la moyenne le chiffre relatif aux écluses à grande chute du canal du Centre. Nous avons expliqué (page 359) que si des ventelles avaient été installées dans les portes d'aval de ces écluses, c'était uniquement pour parer aux conséquences d'un accident que d'ailleurs on considérerait comme très improbable. Dans ces conditions, on a tout naturellement subordonné les dispositions des ventelles aux facilités d'agencement des diverses pièces de l'ossature.

1. A la porte de l'écluse de Varennes (pl. LXII et LXXI, pages 361 et 400), la baie ménagée pour chaque ventelle mesure 1 m. 432 de large sur 0 m. 915 de haut ; sa surface est donc de 1 m² 3103. L'ensemble des réductions à faire subir à cette surface pour tenir compte de la traverse supérieure du cadre de la ventelle, de l'épaisseur des jalousies et de celle des arbres autour desquels elles tournent, etc., ne dépasse pas 0 m² 3449, soit 26 0/0. Les cotes, en très petit nombre, de la planche LXII, relatives aux détails de la ventellerie, ne sont pas complètement d'accord avec celles de la planche LXXI. Ce sont ces dernières qui sont conformes à l'exécution.

DÉSIGNATION DES ÉCLUSES	Largeur	Hauteur des bajoyers au-des- sus du busc	Surface de la section transversale de la tête de l'écluse	Surface libre des ventelles		Rapport des deux surfaces (pourcen- tage)
				M. Q.	M. Q.	
Ecl. ancienne du canal de St-Quentin.....	5.20	4.68	24.3360	1.2600		5.2
— du Haut-Pont, sur l'Aa (grand sas).....	5.20	4.22	21.9440	1.0176		4.6
— à grande chute du can- nal du Centre.....	5.20	8.20	42.6400	0.4600		1.1
— du canal de l'Aisne à la Marne.....	5.20	4.992	25.9584	1.4584		5.6
— de Jussy (nouvelle), sur le canal de St-Quentin	6.00	6.30	37.8000	3.9888		10.6
— de Cumières, sur la Marne.....	7.80	5.22	40.7160	2.8000		6.9
— de Charenton, sur le canal St-Maurice....	7.80	7.80	60.8400	2.1000		3.5
— de Péchoir, sur l'Yonne (2 ^e section).....	10.50	3.99	41.8950	2.4770		5.9
— de Monéteau, sur l'Yonne (1 ^{re} section).....	10.50	3.96	41.5800	2.1186		5.1
— de Hun, sur la Meuse belge.....	12.00	5.94	71.2800	2.3520		3.3
— de Varennes, sur la Haute-Seine.....	12.00	4.40	52.8000	3.8616		7.3
— d'Ablon, sur la Haute- Seine.....	12.00	4.90	58.8000	3.9200		6.7
Moyenne.....		5.48

L'obligation plus ou moins impérieuse de ménager ces facilités est assurément une des causes de la variété des chiffres inscrits dans la dernière colonne du tableau ci-dessus. Souvent aussi la nécessité de placer les ventelles entièrement au-dessous du niveau de l'eau en aval (voir page 281) ne permet pas de leur donner les dimensions qui seraient désirables, au point de vue de la rapidité des manœuvres. Cependant l'exemple des portes nouvelles du canal de Saint-Quentin, étudiées avec un soin extrême par M. l'inspecteur général Derôme, montre qu'il est possible de concilier toutes les exigences.

Quoi qu'il en soit, si on fait abstraction des écluses à grande chute du canal du Centre, on trouve que pour les écluses

comprises dans le tableau ci-dessus, le rapport de la surface libre des ventelles à la surface de la section transversale de la tête de l'écluse s'élève en moyenne à 5,88, soit, en nombre rond, 6 0/0. Il nous a semblé qu'il n'était pas sans intérêt de faire ressortir ce chiffre.

180. Passerelle de service. Appareils de manœuvre des ventelles. — La manœuvre des ventelles s'effectue d'une passerelle adaptée à la partie supérieure des vantaux ; les douze planches de LV à LXVI donnent autant de spécimens des dispositions variées qui peuvent être adoptées pour cette partie de l'ouvrage.

Quand la largeur de la passerelle est supérieure à l'épaisseur du vantail, et c'est presque toujours le cas, la partie en porte-à-faux doit être tournée du côté d'amont. C'est, en effet, une règle absolue que lorsque le vantail est logé dans son enclave (porte ouverte), il ne doit présenter aucune partie en saillie sur son parement exposé au contact des bateaux, c'est-à-dire sur son parement aval¹. Il faut, en outre, que la passerelle soit assez élevée pour passer au-dessus du bajoyer, sur lequel elle déborde généralement lorsque le vantail est logé dans son enclave. Sa largeur peut varier entre 0 m. 40 et 0 m. 70.

Elle est accompagnée tantôt d'un seul tantôt de deux garde-corps ; dans tous les cas, il convient que ces derniers soient disposés de manière à ne pas mettre obstacle au libre passage des cordes de halage. A ce point de vue, les portes de l'écluse de Charenton, sur le canal Saint-Maurice (pl. LX, page 355), de l'écluse de Varennes, sur la Haute-Seine (pl. LXII, page 361), de Jussy, sur le canal de Saint-Quentin (pl. LXVI, page 373), fournissent des exemples très recommandables.

1. Dans l'intérêt de la conservation des bateaux, cette règle doit être observée *rigoureusement* même pour les plus petits détails de la construction : têtes des boulons, extrémités des tiges filetées de ces boulons, etc...

Le mode d'attache de la passerelle dépend essentiellement du genre de construction du vantail. Il comporte le plus souvent des consoles métalliques fixées sur l'entretoise supérieure. On conçoit que le mode d'attache doit être particulièrement robuste si c'est à la passerelle même que sont fixés les mécanismes de manœuvre des ventelles.

Quant à ces derniers, ils varient à l'infini, depuis le simple levier actionnant une crémaillère par l'intermédiaire d'un unique pignon jusqu'aux crics plus ou moins compliqués, suivant l'amplitude du mouvement à donner à la vanne, suivant la résistance à vaincre et aussi suivant les traditions locales. Nous ne saurions entrer dans les détails de construction, même d'un nombre restreint de types, nous nous contenterons d'une indication, d'ordre général, que nous considérons comme très importante.

Les mécanismes doivent être disposés de telle sorte que les hommes chargés de les manœuvrer puissent, sans aucune gêne, développer toute la force dont ils sont susceptibles, eu égard aux sujétions particulières qui peuvent résulter des dispositions de la passerelle sur laquelle ils doivent, forcément, se tenir. Nous avons vu (page 357) que les vilbrequins, au moyen desquels se manœuvraient primitivement les ventelles des portes de l'écluse de Charenton, sur le canal Saint-Maurice, avaient dû, au bout de très peu de temps, être remplacés par des crics à manivelles ; c'est qu'effectivement le vilbrequin ne satisfait en aucune façon à la condition énoncée ci-dessus.

§ 4

PORTES NON BUSQUÉES

181. Différentes espèces de portes non busquées. —

Les portes non busquées se composent le plus souvent d'un

vantail unique susceptible de tourner, de 90° ou à très peu près, soit autour d'un axe vertical, soit autour d'un axe horizontal.

Dans le premier cas, quand la porte est ouverte le vantail s'efface dans une enclave ménagée dans un des bajoyers ; quand la porte est fermée le vantail s'appuie, d'un côté contre la paroi verticale qui limite l'enclave à l'aval, de l'autre contre une feuillure verticale pratiquée dans le bajoyer opposé et du bas contre la saillie rectiligne qui tient, ici, lieu de busc.

Dans le cas de l'axe horizontal, quand la porte est ouverte le vantail s'efface dans un logement ménagé à cet effet dans le radier de la chambre de la porte ; quand elle est fermée le vantail s'appuie, des deux côtés, contre des feuillures verticales ou voisines de la verticale qui sont disposées dans l'un et l'autre bajoyer et du bas contre la saillie rectiligne qui tient lieu de busc.

On a aussi un exemple intéressant de porte à deux vantaux non busqués, tournant chacun de 90° autour d'un axe vertical, fonctionnant, en somme, absolument comme une porte d'appartement à deux battants.

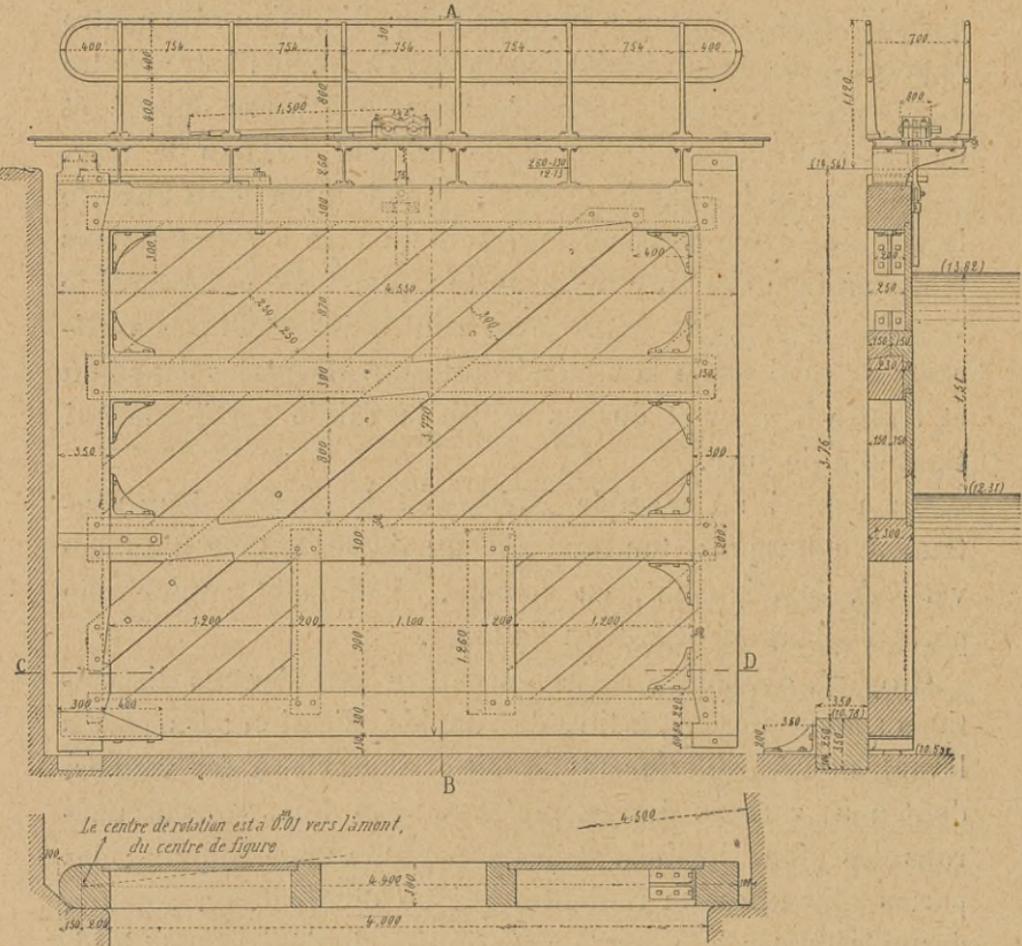
On peut, d'ailleurs, concevoir encore bien d'autres dispositions ; nous citerons, à titre de simple indication : les portes levantes où à *guillotine* tout à fait assimilables à des vannes, dont nous verrons des exemples lorsque nous nous occuperons des plans inclinés et des ascenseurs pour canaux ; les portes glissantes ou roulantes qui ne diffèrent, en somme, des précédentes que par la substitution du déplacement horizontal au déplacement vertical ; les bateaux-portes qui ne s'emploient guère qu'à la mer et ressortissent par suite au cours de travaux maritimes.

182. Spécimens de portes à un seul vantail tournant autour d'un axe vertical. — *Ancienne porte du petit sas de l'écluse du Haut-Pont, sur l'Aa* ¹. — Largeur de l'écluse,

1. Renseignements fournis par le service.

ÉLÉVATION, VUE D'AVANT

COUPE AB



COUPE CD

PL. LXXII. ANCIENNE PORTE DE L'ÉCLUSE DU HAUT-PONT, SUR L'AA (PETIT SAS)

4 mètres ; hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc, 3 m. 76 ; chute normale, 1 m. 54 ; mouillage sur le busc aval, 1 m. 53 (pl. LXXII). Il n'y a pas de mur de chute ; les portes d'amont et d'aval sont identiques ; construites en 1876, elles ont été remplacées en 1901 par des portes mixtes.

La largeur totale du vantail est de 4 m. 55 ; sa hauteur est de 3 m. 77 ; il est construit en bois.

L'équarrissage des pièces du cadre est de $\frac{0,35}{0,30}$ pour le poteau tourillon, de $\frac{0,30}{0,30}$ pour le poteau busqué ainsi que pour les entretoises supérieure et inférieure.

Les entretoises intermédiaires, au nombre de deux, également de $\frac{0,30}{0,30}$ d'équarrissage, divisent l'intérieur du cadre en trois parties de hauteurs sensiblement égales (0 m. 87, 0 m. 80 et 0 m. 90, en allant de haut en bas).

Un bracon continu, de $\frac{0,30}{0,30}$ d'équarrissage, réunit le poteau tourillon à l'entretoise supérieure.

Le bordage, discontinu, de 0 m. 05 d'épaisseur, est formé de madriers parallèles au bracon.

Les assemblages des pièces horizontales et verticales sont consolidés par des écoinçons en fonte et une bride en fer.

Entre l'entretoise inférieure et l'entretoise intermédiaire la plus basse, est ménagée une ouverture de 1 m. 10 de large sur 0 m. 90 de haut, pour l'installation d'une ventelle à jalousies entièrement en fonte (partie fixe et partie mobile) présentant des vides d'une surface totale de 0 m² 5088. La ventelle se manœuvre au moyen d'un levier et d'un mécanisme fixé sur le tablier de la passerelle de service.

Cette dernière, entièrement métallique, mesurant 0 m. 70 de largeur hors garde-corps, est fixée sur l'entretoise supérieure au moyen de consoles également en fer. Elle utilise ainsi toute l'épaisseur du vantail et fait saillie de 0 m. 40 seulement sur la face amont.

*Porte d'aval d'une écluse de la dérivation de la Scarpe autour de Douai*¹. — Largeur de l'écluse, 6 mètres ; hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc, 7 m. 60 ; chute, 4 m. 10 ; mouillage sur le busc, 2 m. 50 (pl. LXXIII). La dérivation de la Scarpe comporte deux écluses identiques ; elle a été livrée à l'exploitation le 5 août 1895.

Le vantail mesure 6 m. 64 de large, non compris la saillie des pièces qui portent la crapaudine et le pivot, et 6 m. 95, toutes saillies comprises ; sa hauteur est de 7 m. 67 ; l'ossature est entièrement en fer, le bordage en bois.

Le cadre est formé de quatre poutres en **I** composées d'une âme de $\frac{360}{15}$, de quatre cornières de $\frac{150 \times 150}{15}$ et de quatre semelles de $\frac{400}{10}$. Il est divisé en deux parties égales par une entretoise de soulagement horizontale, en forme de **I**, composée d'une âme de $\frac{360}{15}$, de quatre cornières de $\frac{150 \times 150}{15}$ et de cinq semelles de $\frac{450}{20}$, deux vers l'amont, trois vers l'aval. Chacun des deux rectangles ainsi formés est partagé en deux autres par une entretoise verticale, également en **I**, composée d'une âme de $\frac{360}{15}$, de quatre cornières de $\frac{100 \times 100}{10}$ et de quatre semelles de $\frac{350}{10}$. Enfin, chacun des quatre panneaux est encore divisé en deux parties égales par une entretoise intermédiaire, en forme d'**I**, composée d'une âme de $\frac{380}{10}$, de quatre cornières de $\frac{80 \times 80}{10}$ et de deux semelles de $\frac{250}{10}$.

L'ensemble de ces pièces horizontales et verticales, assemblées au moyen d'équerres en tôle, est consolidé par un bra-

1. Voir la notice de M. l'ingénieur en chef Barbet sur la dérivation de la Scarpe autour de Douai ; *Annales des Ponts et Chaussées*, 1896, deuxième semestre.

con, par une double écharpe, par de forts goussets en tôle aux angles et au centre du cadre.

Le bordage est formé de madriers en chêne verticaux, de 0 m. 10 d'épaisseur.

Des fourrures en bois, de 0 m. 12 d'épaisseur, garnissent la face aval de chaque montant du cadre et de l'entretoise inférieure.

Le vantail ne comporte aucune ventelle ; il est surmonté d'une passerelle entièrement métallique, de 0 m. 70 de largeur hors garde-corps.

*Porte d'aval du grand sas de l'écluse n° 1 du canal Saint-Denis*¹. — Largeur de l'écluse, 8 m. 20 ; hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc, 13 m. 92 ; chute, 9 m. 92 ; mouillage sur le busc, 3 m. 50 (pl. LXXIV)².

La largeur du vantail est de 8 m. 75, non compris la saillie des pièces qui portent la crapaudine et le pivot, et de 9 m. 455, toutes saillies comprises. La hauteur totale est de 10 m. 24. Nous avons indiqué (page 307) que les deux bajoyers sont réunis, vers l'aval, par un masque en maçonnerie contre lequel vient s'appuyer la partie supérieure du vantail ; c'est ce qui a permis de réduire notablement la hauteur de ce dernier. L'ossature est entièrement en fer, le bordage en bois.

Le cadre est formé de poutres métalliques composées chacune d'une âme, de quatre cornières et de semelles en nombre variable. Les poutres qui constituent les poteaux tourillon et busqué mesurent 0 m. 826 de hauteur, hors cornières, avec des semelles de 0 m. 45 de largeur ; les entretoises supérieure et inférieure, 0 m. 802 de hauteur hors cornières, avec des semelles de 0 m. 40.

1. Voir la note de M. l'ingénieur Maurice Renaud sur les nouvelles écluses du canal Saint-Denis ; *Annales des Ponts et Chaussées*, 1893, deuxième semestre.

2. Deux légères erreurs sont à relever sur cette planche. L'altitude du radier de la chambre de la porte est (38,32) au lieu de (38,82). Les cotes 2,767, qui mesurent la largeur des panneaux verticaux extrêmes, devraient être attachées, l'une à gauche, l'autre à droite, à l'axe des montants extrêmes.

Les entretoises intermédiaires, horizontales, au nombre de cinq, sont espacées inégalement, de telle façon que le travail maximum du bordage reste à peu près le même dans chaque travée ; elles mesurent 0 m. 802 de hauteur hors cornières, avec semelles de 0 m. 45. Elles sont reliées entre elles et aux entretoises supérieure et inférieure par deux séries d'entretoises verticales mesurant 0 m. 826 hors cornières, avec semelles de 0 m. 40. Enfin elles sont contreventées par des fers à \sqsubset , sur chaque face et panneau par panneau.

Le bordage, de 0 m. 188 d'épaisseur, est formé de madriers verticaux, boulonnés à l'amont sur le cadre et sur les cinq entretoises horizontales intermédiaires.

A l'aval, les pièces métalliques portent des fourrures en bois formant : pour les pièces du cadre, appui sur les dormants ; pour les autres, une défense contre les chocs des bateaux.

Le vantail ne comporte ni ventelle ni passerelle de service.

*Porte d'aval de la nouvelle écluse de Port-à-l'Anglais, sur la Haute-Seine*¹. — Largeur de l'écluse, 12 mètres ; hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc, 7 m. 20 ; chute normale, 2 m. 66 ; mouillage sur le busc, 3 m. 20 (pl. LXXV). La nouvelle écluse de Port-à-l'Anglais a été mise en service en 1902.

Le vantail mesure 13 m. 15 de large, toutes saillies comprises, et 7 m. 15 de haut. L'ossature et le bordage sont en acier. La hauteur étant beaucoup plus petite que la largeur, l'entretoise supérieure et l'entretoise inférieure sont réunies par des montants verticaux. Cependant, le vantail est divisé en deux parties par une entretoise horizontale distante de 2 m. 50, d'axe en axe, de l'entretoise inférieure. La partie du bas, revêtue d'un bordage aussi bien à l'aval qu'à l'amont, forme des compartiments étanches qui permettent au vantail de flotter.

Des quatre poutres qui forment le cadre, le montant du tourillon est un \sqsubset de 0 m. 70 de hauteur, composé d'une

1. Renseignements fournis par le service.

âme de $\frac{676}{10}$, de deux cornières de $\frac{100 \times 100}{10,75}$ et de deux semelles de $\frac{210}{12}$. Le montant extrême correspondant au poteau busqué, les entretoises supérieure et inférieure ainsi que l'entretoise intermédiaire sont des **I** de 1 mètre de hauteur, composés d'une âme de $\frac{976}{10}$, de quatre cornières de $\frac{100 \times 100}{10,75}$ et de deux semelles de 12 millimètres d'épaisseur, la largeur de ces semelles et leur disposition par rapport à l'axe de la poutre variant suivant les convenances de l'assemblage. Toutefois, l'entretoise supérieure comporte une âme de 12 millimètres d'épaisseur et des cornières de $\frac{125 \times 125}{12,75}$; elle est, en outre, renforcée sur une partie de sa longueur par des semelles supplémentaires de $\frac{300}{8}$.

Les montants intermédiaires, au nombre de sept, divisent l'intérieur du cadre en huit panneaux de même largeur; ils se composent d'une âme de $\frac{976}{7}$ et de quatre cornières de $\frac{70 \times 70}{7}$. Ils sont reliés sur la face amont et dans la partie basse de la face aval par des membrures horizontales (**L** de $\frac{140 \times 65}{10,5 \times 5,5}$), destinées uniquement à soutenir le bordage et espacées de manière à supporter sensiblement la même charge.

L'ossature est complétée par quatre pièces de contreventement (**L** de $\frac{250 \times 85}{15 \times 9}$), disposées sur la face aval suivant les diagonales des deux moitiés de la partie haute du vantail. De solides goussets en tôle sont établis aux points où ces pièces diagonales s'attachent au cadre et se croisent entre elles.

Les bordages sont en tôle plane de 7 millimètres d'épaisseur.

Des fourrures en bois, de $\frac{0,30}{0,15}$, règnent le long des deux montants extrêmes et de l'entretoise inférieure, sur la face

aval du vantail, pour assurer un contact étanche avec les maçonneries. Deux cours de pièces de bois horizontales de même épaisseur, mais de 0 m. 20 seulement de hauteur, complètent sur la même face un système destiné à protéger les pièces de l'ossature contre le choc des bateaux.

Aucune ventelle n'est ménagée dans le vantail.

La passerelle de service, composée de madriers en bois de chêne fixés sur des consoles métalliques, mesure 1 mètre de largeur entre garde-corps.

La partie basse du vantail forme huit compartiments mis en communication les uns avec les autres par des trous d'homme ménagés dans l'âme des montants intermédiaires. Deux de ces trous d'homme n'étant pas munis de fermeture, il n'y a, en réalité, que six compartiments étanches indépendants, pourvus chacun d'une tuyauterie qui permet d'employer l'air comprimé pour en faire la vidange. Enfin, deux de ces compartiments sont directement accessibles au moyen d'une échelle logée dans un cylindre vertical en tôle, de 0 m. 60 de diamètre intérieur, qui réunit des orifices de même diamètre pratiqués respectivement dans les âmes des entretoises supérieure et intermédiaire.

Il n'est peut-être pas sans intérêt d'ajouter ici : 1° que le remplissage et la vidange du sas se font au moyen de vannes cylindriques basses de 1 m. 80 de diamètre; 2° que les manœuvres d'ouverture et de fermeture des portes s'effectuent au moyen d'arcs dentés commandés par des turbines (une à l'amont, une à l'aval) qui utilisent la chute de l'écluse.

183. — Portes à un seul vantail tournant autour d'un axe horizontal. — Dans le compte rendu de sa mission en Amérique, en 1870, M. Malézieux ¹ signale cette disposition comme adoptée depuis longtemps pour les portes

1. *Travaux publics des Etats-Unis d'Amérique en 1870*; journal de mission de M. Malézieux, ingénieur en chef, professeur à l'École des Ponts et Chaussées, Paris, 1873.

d'amont des écluses sur certains canaux des Etats-Unis, d'où le nom de *porte américaine à rabattement* souvent donné à ce genre de portes. Voici, presque textuellement, ce que M. Malézieux dit de *l'écluse n° 39 du canal Erié* à laquelle ce système venait d'être récemment appliqué lors de son voyage (pl. LXXVI).

La largeur du sas est de 5 m. 10 au fond et de 5 m. 80 en haut ; cette dernière est celle de l'écluse à la tête amont. La hauteur totale des bajoyers au-dessus du plancher de fondation est de 6 m. 10 ; elle se répartit comme il suit :

Saillie verticale du buse d'aval	0 m. 335
Mouillage normal	2 135
Chute	3 020
Hauteur des couronnements au-dessus du plan d'eau d'amont	0 610
Total égal	<u>6 m. 100</u>

Un avant-mur de chute, de 1 m. 52 d'épaisseur et de 3 m. 125 de hauteur, s'élève jusqu'à 0 m. 23 en contre-bas du plafond du bief supérieur. En aval de ce mur est une sorte de grand coffre en charpente sur lequel la porte est adaptée et se rabat ; la partie supérieure forme le radier de la chambre de la porte ; la partie antérieure, qui se réduit à un cadre en charpente divisé par trois montants, correspond au mur de chute.

Pour redresser la porte, on se sert d'une chaîne sans fin fonctionnant dans une des enclaves tout contre le bajoyer ; cette chaîne est fixée à la tête de la porte, passe sur des poulies de renvoi et s'enroule sur un treuil de manœuvre. La porte redressée reste un peu en-deçà de la verticale, de sorte qu'elle retombe par son propre poids dès que le sas est plein.

Cette porte consiste essentiellement en un bâti rectangulaire, de 6 m. 40 de large sur 2 m. 77 de haut, qui a sept montants et deux traverses seulement, y compris celle qui forme charnière. La traverse supérieure est renforcée de manière à constituer une sorte de poutre armée ou de ferme basse. Un double platelage masque les cinq montants intermédiaires.

Les vides intérieurs sont remplis de pierrailles. La porte se ferme en s'appliquant tout simplement sur des montants fixes à face plane.

On remarquera que la porte, lorsqu'elle est rabattue, est bien loin de s'appliquer sur le plancher qui forme le radier de la chambre. Il importe, en effet, qu'elle ne masque pas les orifices, au nombre de quatre, ménagés dans ce plancher pour le remplissage du sas.

Ces orifices, de 0 m. 75 de largeur et de 1 m. 22 de longueur parallèlement à l'axe de l'écluse, sont munis de vannes¹ susceptibles de tourner autour d'un axe horizontal médian dirigé dans le sens de la longueur, qui se tiennent à peu près verticalement quand elles sont ouvertes et horizontalement quand elles sont fermées. On les manœuvre, du haut des bajoyers, à l'aide de leviers dont le mouvement se transmet, par des pignons et des crémaillères, à des tiges descendant dans l'enclave et se reliant au bas, par des mouvements de sonnette, à autant de tiges horizontales qui commandent séparément chacune des vannes. C'est, en somme, avec les dispositions appropriées à l'emploi de la charpente, le mode de remplissage du sas que nous avons décrit plus haut à l'article 147, *Aqueducs ménagés dans les têtes d'écluse*.

Avec les portes à rabattement, la longueur de la chambre de la porte ne dépend que de la hauteur de cette dernière, c'est-à-dire du mouillage, s'il s'agit d'une porte d'amont. Avec les portes mobiles autour d'un axe vertical, la longueur de la chambre doit excéder un peu la largeur du vantail qui croît avec l'ouverture de l'écluse. Lorsque cette ouverture devient considérable, le type à rabattement semble avoir un avantage certain pour les portes d'amont.

Les écluses du nouveau canal de l'Elbe à la Trave dont nous avons déjà parlé plus haut (page 323), présentent une

1. Dans les figures de la planche LXXVI, pour plus de clarté, on a supposé que les vannes et tous les mécanismes qui servent à les manœuvrer étaient enlevés.

application toute récente des portes à vantail unique, tournant autour d'un axe horizontal, pour la fermeture d'amont. Ces écluses ont 12 mètres de largeur aux têtes ; le mouillage sur le busc est de 2 m. 50. Le vantail, entièrement métallique, forme un caisson à compartiments étanches dont l'un, placé à la partie supérieure, dit *caisse à air*, peut être alternativement rempli d'air ou d'eau. Dans le premier cas le vantail est plus léger que le volume d'eau qu'il déplace, dans le second il est plus lourd.

Supposons la caisse à air remplie d'eau ; le vantail est couché sur le radier de la chambre, la porte est ouverte. Pour la fermer, il suffit de remplir d'air la caisse à air ; le vantail se relève spontanément et vient s'appliquer contre les feuillures ménagées, à cet effet, dans la maçonnerie. On peut alors vider le sas, mais en même temps la caisse à air se remplit automatiquement d'eau et le vantail se trouve ainsi prêt pour une nouvelle manœuvre ; dès que le sas aura été rempli à nouveau, le vantail, sous l'action de son propre poids, retombera sur le radier de la chambre de la porte ; celle-ci sera de nouveau ouverte.

Pour pouvoir parvenir à la caisse à air et en chasser l'eau, l'air doit être comprimé à la pression d'une atmosphère et demie environ. La compression est obtenue en utilisant la chute de l'écluse.

Nous ne saurions entrer ici dans une description de détail des appareils imaginés par M. Hottop pour la réalisation des manœuvres sommairement indiquées ci-dessus ; mais tant à raison du mode de manœuvre des portes qu'à raison du système employé pour le remplissage et la vidange des sas, les écluses du nouveau canal de l'Elbe à la Trave méritent d'être tout particulièrement signalées à l'attention des ingénieurs ¹.

1. Au lecteur désireux d'être plus amplement renseigné, nous pouvons indiquer, indépendamment de celles déjà signalées dans le renvoi de la page 323, les publications suivantes : 1^o *Erläuterung betreffend die Konstruktion und Betriebseinrichtung der Krumesser Schleuse*, par MM. Rehder, directeur et Hottop, inspecteur des travaux hydrauliques, Lubeck, 1898 ; 2^o *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, Berlin, 1899 (page 614) et 1900 (page 753).

184. Porte à deux vantaux non busqués. — *L'écluse de Bourg-le-Comte*¹, sur le canal de Roanne à Digoin, a la largeur légale (5 m. 20), mais la chute est de 7 m. 19. Le mouillage sur le buse d'aval étant de 2 m. 60 et la revanche du couronnement, par rapport au plan d'eau d'amont, de 0 m. 50, les bajoyers n'ont pas moins de 10 m. 29 de hauteur au-dessus du buse. Pour éviter de donner à la porte d'aval des dimensions excessives, on a employé le même artifice qu'à l'écluse n° 1 du canal Saint-Denis; immédiatement à l'aval de la chambre de la porte, les deux bajoyers sont réunis par un masque contre lequel cette porte vient s'appuyer par le haut, en même temps qu'elle bute du bas contre le seuil rectiligne qui tient lieu de buse (pl. LXXVII).

Seulement, ici, le masque est en métal, et on a eu l'ingénieuse idée de former la porte de deux vantaux tournant chacun de 90°, qui se joignent sur l'axe de l'écluse au moyen d'une feuillure, absolument comme les vantaux d'une porte d'appartement à deux battants. De cette manière, on a pu réduire la longueur de l'enclave au minimum, ce qui est un sérieux avantage avec une hauteur de bajoyers de 10 m. 29. Cette porte présente encore une autre disposition originale. Chaque vantail est manœuvré au moyen d'un arc denté commandé par un mécanisme qui peut être mis en mouvement d'une passerelle fixe établie au niveau du couronnement des bajoyers; mais, et c'est là l'innovation, arc denté et mécanisme sont entièrement à l'aval du vantail, par conséquent, toujours hors de l'eau, toujours faciles à examiner, à soigner, à réparer.

Chaque vantail mesure 3 m. 211 de large, toutes saillies comprises et 7 m. 292 de hauteur. L'ossature et le bordage sont entièrement en fer.

1. Note sur le nouveau système de fermeture des écluses à grande chute du canal de Roanne à Digoin, par M. l'ingénieur en chef Mazoyer; *Annales des Ponts et Chaussées*, 1900, 2^e trimestre. Les projets de l'écluse de Bourg-le-Comte ont été préparés et les travaux exécutés (en 1898 et 1899), sous la direction de M. l'ingénieur en chef Mazoyer, par M. l'ingénieur Rolland de Ravel.

Le cadre constitué par les deux montants extrêmes et les entretoises supérieure et inférieure est divisé : dans le sens vertical, en deux parties égales par un montant intermédiaire médian ; dans le sens horizontal, par quatre entretoises horizontales intermédiaires, en cinq tranches dont la hauteur est de plus en plus faible à mesure que l'on s'abaisse au-dessous du plan d'eau et que, par suite, les pressions deviennent plus considérables. Toutes ces pièces sont constituées par des poutres en **I** ayant uniformément 0 m. 50 de hauteur entre les semelles.

Les montants extrêmes, le montant intermédiaire et les entretoises extrêmes se composent d'une âme de $\frac{500}{12}$, de quatre cornières de $\frac{100 \times 100}{12}$ et de semelles, en nombre variable, de largeurs et d'épaisseurs différentes suivant les exigences de la résistance ou de l'assemblage des pièces ; les entretoises intermédiaires sont formées de quatre cornières de $\frac{70 \times 70}{10}$, réunies par un treillis en fers plats de $\frac{60}{10}$ et renforcées par des semelles.

L'ossature est consolidée par des pièces diagonales, bracon (poutre à treillis) et tendeurs (fers plats de $\frac{70}{12}$), ainsi que par de solides goussets en tôle établis sur la face aval, à la rencontre des montants et des entretoises extrêmes.

Le bordage est formé de dix plaques de tôle emboutie, bombées vers l'amont, de 8 millimètres d'épaisseur et de 70 de flèche.

Une fourrure en bois, de $\frac{0,22}{0,10}$, règne tout le long du montant (du côté du tourillon) et des entretoises extrêmes, pour assurer un contact étanche avec les maçonneries et avec le masque. Les deux pièces de charpente enchassées dans les ailes extérieures des montants extrêmes opposés aux tourillons sont entaillées à mi-bois pour former la feuillure de jonction.

Les vantaux ne comportent ni ventelles ni passerelle de service.

§ 5

COMPARAISON ENTRE LES DIVERS SYSTÈMES
DE PORTES D'ÉCLUSE

185. Prix de revient. — Un premier élément de comparaison est le prix de revient. Le tableau ci-après (pages 426 à 429) contient, pour les divers spécimens de portes d'écluse que nous avons donnés en exemple, des chiffres qui pourront être consultés utilement, à ce point de vue ; mais il importe, avant tout, de dire comment ces chiffres ont été obtenus.

Les prix de revient effectifs d'ouvrages similaires, construits à des époques et dans des localités différentes, ne sont pas comparables *a priori* ; c'est un point sur lequel nous avons déjà insisté plus haut, dans l'article où nous donnons un *aperçu du prix de revient de divers barrages mobiles* (pages 259 et suivantes).

Tout d'abord, le coût des matériaux et celui de la main-d'œuvre, par conséquent les prix unitaires, peuvent varier dans des limites très étendues. D'autre part, les métrés peuvent n'être pas faits suivant les mêmes règles. Enfin, dans l'espèce, le prix de revient change du tout au tout suivant qu'il comprend ou non la ventellerie (vannes, tiraudes, crics de manœuvre), qu'il comprend ou non les organes et appareils pour la manœuvre des vantaux (pivot, collier, mécanismes et machineries plus ou moins compliqués), et cela d'autant plus que ces divers ouvrages accessoires peuvent être établis d'une manière économique ou dispendieuse, quel que soit par ailleurs le mode de construction des vantaux.

Pour avoir des prix de revient comparables, nous avons

d'abord refait tous les métrés de la même manière¹, en limitant le calcul des quantités aux vantaux et aux organes qui y sont invariablement fixés, tels que la crapaudine, le tourillon, la passerelle de service, etc. L'ordre d'idées dans lequel nous nous sommes placé sera peut-être encore mieux caractérisé par l'énumération des objets qui n'ont pas été compris dans les métrés, à savoir : les pivots, les faux buses quand il y en a ; les colliers, les arcs dentés ou les crémaillères avec les mécanismes qui les actionnent ; toutes les parties de la ventellerie qui n'entrent pas dans la constitution même de l'ossature des vantaux, les tiraudes, les crémaillères et les crics de manœuvre des vannes.

Aux quantités ainsi calculées, nous avons ensuite appliqué uniformément la série de prix unitaires ci-après :

Bois	{ pour portes en bois des rivières..... de { pour portes en bois des canaux..... chêne { pour portes métalliques ou mixtes.....	275 fr.	le mètre cube
		250	— —
		225	— —
Bois de sapin		100	— —
Fers laminés et gros fer forgés.....		0 40	le kilogramme
Menus fer forgés, travaillés à la lime ou taraudés..		0 70	—
Fonte		0 30	—
Acier laminé.....		0 45	—
Acier forgé.....		2 50	—
Acier coulé.....		1 25	—

Tous ces prix unitaires sont ceux des matériaux mis en œuvre ; on n'a compté ni indemnité spéciale pour la mise en place des vantaux, ni somme à valoir.

Les prix des métaux comprennent la peinture à trois couches dont une au minium.

Les prix de la charpente comprennent, en tant que de besoin, la peinture ou le goudronnage et le calfatage.

La majoration du prix de la charpente de chêne pour portes en bois est justifiée par ce fait que dans ces dernières, les

1. Quelque soin que nous ayons mis à ce travail, des erreurs et des omissions peuvent s'y être glissées. Nous serions extrêmement reconnaissant à MM. les ingénieurs des services intéressés, s'ils voulaient bien faire vérifier nos estimations et nous communiquer les résultats de ces vérifications.

pièces de fort équarrissage (poteaux tourillon et busqué, entretoises et bracon) entrent dans le cube total pour une beaucoup plus grande proportion que dans les portes métalliques ou mixtes. De même, il a paru logique de faire une distinction, dans les portes en bois, entre celles des écluses des rivières et celles des écluses des canaux, les premières comportant généralement des pièces de plus grandes dimensions et de plus fort équarrissage.

Dernière observation. On a l'habitude de rapporter le prix des portes d'écluse au mètre carré de vantail. Nous pensons que cette unité n'est pas bien choisie ; elle a, notamment, le grave inconvénient de ne pas se prêter à une comparaison exacte entre les portes busquées et les portes non busquées dont l'emploi devient, de jour en jour, plus fréquent. Ce qui doit fixer l'attention, à notre avis, ce n'est pas la surface du vantail, mais la surface qu'il ferme utilement. Cette *surface utile* s'obtient en faisant le produit de la largeur de l'écluse aux têtes par la hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc, s'il s'agit d'une porte à vantail unique, et en prenant la moitié du même produit s'il s'agit d'une porte à deux vantaux. Le chiffre caractéristique que nous nous sommes attaché à faire ressortir dans le tableau ci-après est donc le *prix du vantail par mètre carré de surface utile*.

DÉSIGNATION des écluses	Porte		Largeur aux têtes	Hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du buse	Surface utile par vantaill	Chute	Moulin su le l
	Amont	Aval					
I. Portes en bois							
1^o Busquées							
Ecluse ancienne du canal de Saint- Quentin	»	Aval	5.20	4.68	12.1680	»	
Ecluse du Haut-Pont, sur l'Aa (grand sas)	»	Aval	5.20	4.22	10.9720	1.51	2.
Ecluse de Cumières, sur la Marne.	Amont	»	7.80	5.22	20.3580	1.02	2.
Ecluse de Péchoir, sur l'Yonne (2 ^e section)	Amont	»	10.50	3.99	20.9475	2.00	3.
Ecluse de Hun, sur la Meuse belge.	Amont	»	12.00	5.94	35.6400	2.82	4.
2^o Non busquées							
Ecluse du Haut-Pont, sur l'Aa (petit Sas)	»	Aval	4.00	3.76	15.0400	1.51	1.
Ecluse n ^o 39 du canal Erié	Amont	»	5.80	2.745	15.9100	3.02	2.
II. Portes métalliques							
1^o Busquées							
Ecluse à grande chute du canal du Centre	»	Aval	5.20	8.20	21.3200	5.20	2.
Ecluse de Charenton, sur le canal Saint-Maurice	»	Aval	7.80	7.80	30.4200	4.25	2.
Ecluse de Varennes, sur la Haute- Seine	»	Aval	12.00	4.40	26.4000	1.49	2.

Modèle sur le b M.	Largeur du vanta M.	Hauteur du vanta M.	Rapport de la hauteur à la largeur	Prix du vantail		OBSERVATIONS
				Total	par mètre carré de surface utile	
				FR.	FR.	
1.	3.15	5.98	1.90	1271	104	Porte à balancier.
2.	4.16	4.23	1.34	1044	95	Passerelle entièrement métallique.
2.	4.65	5.18	1.11	2010	99	
3.	3.00	3.95	0.66	2480	118	Passerelle entièrement métallique.
4.	5.743	5.73	0.85	3659	103	
1.	4.55	3.77	0.83	1355	90	Passerelle entièrement métallique.
2.	3.40	2.77	0.43	1508	95	Vantail sans ventelles ni passerelle. Mètre approximatif.
2.	3.029	8.092	2.67	3305	155	Passerelle entièrement métallique.
2.	4.57	7.76	1.70	2726	90	Ce prix extraordinairement bas tient, pour une bonne partie, à la faible épaisseur du bordage (0 m. 004). Si cette épaisseur était portée à 0 m. 007 comme sur le canal du Centre et la Haute-Seine, il s'élèverait à 100 francs.
2.	6.837	4.35	0.64	3730	141	

DÉSIGNATION des écluses	Porte		Largeur aux têtes	Hauteur du couronnement des bajoyers au-dessus du busc	Surface utile par vantaill	Chute	Mouill sur busc
	Amont	Aval					
			M.	M.	M. Q.	M.	M.
II. Portes métalliques (suite)							
2^o Non busquées							
Ecluse de Bourg-le-Comte, sur le canal de Roanne à Digoin.....	»	Aval	5.20	10.29	26.7540	7.19	2.60
Ecluse nouvelle de Port à l'Anglais, sur la Haute-Seine.....	»	Aval	12.00	7.20	86.4000	2.66	3.20
III. Portes mixtes							
1^o Busquées							
Ecluse du canal de l'Aisne à la Marne.....	»	Aval	5.20	4.992	12.9792	2.71	2.07
Ecluse de Jussy (nouvelle), sur le canal de St-Quentin.....	»	Aval	6.00	6.30	18.9000	3.20	2.50
Ecluse de Monéteau, sur l'Yonne (1 ^{re} section).....	Amont	»	10.50	3.96	20.7900	1.82	3.45
Ecluse d'Ablon, sur la Haute-Seine.....	»	Aval	12.00	4.90	29.4000	1.84	2.01
2^o Non busquées							
Ecluse de la dérivation de la Scarpe autour de Douai.....	»	Aval	6.00	7.60	45.6000	4.10	2.50
Ecluse n ^o 1 du canal Saint-Denis, à Paris grand sas.....	»	Aval	8.20	13.92	114.1440	9.92	3.50

Mouille sur le busc	largeur du vantaïl	Hauteur du vantaïl	Rapport de la hauteur à la largeur	Prix du vantaïl		OBSERVATIONS
				Total	par mètre carré de surface utile	
M.	M.	M.		FR.	FR.	
2.60	3.214	7.292	2.27	9289	174	Pas de ventelles ni de passerelle. Le masque n'est pas compté. Avec le masque, les mécanismes, etc..., le prix par mètre carré s'élève à 305 francs.
3.20	3.15	7.15	0.54	19335	224	Vantaïl sans ventelles.
2.07	3.198	5.04	1.58	1414	109	
2.50	3.6317	6.805	1.87	3153	167	
3.43	5.957	3.96	0.66	3387	163	Passerelle entièrement métallique.
2.01	6.83	4.85	0.71	3864	131	
2.50	6.64	7.67	1.16	10390	228	Pas de ventelles dans le vantaïl. Passerelle entièrement métallique.
3.50	8.75	10.24	1.17	25406	223	Pas de ventelles ni de passerelle. Le masque n'est pas compté.

186. Comparaison entre les portes en bois, en métal ou mixtes. — Si on s'en tient aux portes busquées, de beaucoup encore les plus employées, et si on considère la moyenne des prix de revient, on constate que les portes mixtes sont un peu plus coûteuses que les portes en fer et que, par rapport à celles-ci, les portes en bois présentent une économie marquée.

Rien que de ce fait, l'usage des portes en bois doit, pendant longtemps, continuer à rendre de grands services dans les voies navigables qui sont à petite section, et dont le trafic n'est pas assez important pour être sérieusement gêné par des renouvellements plus fréquents de ces ouvrages.

Dans une note déjà citée, du 20 janvier 1866, M. l'ingénieur Lermoyez appuyait cette opinion par des considérations qui ont conservé leur valeur. « Il est possible, disait-il, « qu'en assignant aux deux genres de construction (en « bois et en métal) des durées différentes fondées sur l'alté- « ration plus ou moins rapide des matériaux, et en tenant « compte du capital primitif d'établissement et des intérêts « qu'il produirait jusqu'au jour de la reconstruction, on « arriverait à une balance à peu près égale; mais lorsque « chaque jour fait ressortir la nécessité de conserver et de « perfectionner les voies navigables qui sont si indispensables « à l'industrie, tant par les services directs qu'elles lui ren- « dent pour le transport des marchandises lourdes et encom- « brantes, que par les avantages qu'elles lui procurent indi- « rectement en obligeant les compagnies de chemins de fer à « réduire considérablement leurs tarifs, et lorsque d'un autre « côté on met les faibles allocations affectées aux rivières et « aux canaux en parallèle avec les besoins immenses d'un « très grand nombre de lignes navigables, on ne peut s'empê- « cher de reconnaître qu'une sévère économie doit être appor- « tée dans les travaux et qu'il est sage d'éviter toute dépense qui « ne se recommande pas par un caractère d'absolue nécessité ».

Cet avantage de la moindre dépense de premier établissement est particulièrement important lorsqu'il s'agit d'une voie

navigable où les écluses sont déjà munies de portes en bois. Le remplacement de ces portes par d'autres du même type n'exige aucune modification des maçonneries et permet de remployer la plus grande partie des ferrures des portes précédemment arrivées à fin de service. Enfin si on a pu adopter un aménagement judicieux, grâce auquel on n'ait qu'un petit nombre de portes à reconstruire à la fois, on trouvera sans trop de peine les bois de dimensions et de qualités exceptionnelles nécessaires¹.

Mais si les dimensions des écluses s'accroissent, s'il faut construire simultanément un grand nombre de portes, si le trafic de la voie navigable est d'une intensité telle que la durée des ouvrages prenne une importance capitale, l'emploi du métal s'impose, *au moins pour la constitution de l'ossature*. Ce point nous paraît indiscutable.

En effet, au fur et à mesure que les dimensions exigées s'accroissent, la qualité devant rester irréprochable, les bois n'augmentent pas seulement de prix, ils deviennent plus *rare*s de jour en jour, et s'il fallait s'en procurer des quantités importantes, on éprouverait de sérieuses difficultés à les trouver. Au contraire, le prix du métal, abstraction faite des fluctuations inhérentes à tous les produits de l'industrie, tend à s'avilir, et il est toujours facile d'obtenir des pièces des dimensions jugées nécessaires. D'autre part, avec le bois, les assemblages constituent des points faibles où les causes de destruction se multiplient et s'accroissent, tous les moyens de consolidation restant d'ailleurs précaires et souvent illusoire. Avec le métal, il appartient au constructeur de faire des assemblages les parties les plus résistantes du système, aussi peut-on obtenir une rigidité et une durée incomparablement supérieures.

Ainsi que nous l'avons déjà dit plus haut, il ne saurait y avoir, à notre avis, de discussion sur ce point, et le débat ne

1. Sur cette question des avantages que peuvent présenter, dans certains cas, les portes en bois, une note intéressante de M. l'ingénieur Claise a été publiée dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, 1901, 4^{er} trimestre, page 287.

peut porter que sur la question de savoir s'il y a lieu de faire le bordage en bois (portes mixtes), ou en métal (portes métalliques).

Au bordage en métal on objecte surtout l'éventualité et les conséquences des avaries qui pourraient être produites par les chocs des bateaux. La tôle serait plus facilement percée que les madriers plus épais et plus élastiques d'un bordage en bois et, en cas d'accident, quelles difficultés n'éprouverait-on pas à faire faire la réparation, surtout en rase campagne, loin des centres importants où on peut se procurer les ouvriers spéciaux nécessaires. Telle est l'objection.

Tout d'abord on peut observer que l'emploi du métal se vulgarise de plus en plus chaque jour et qu'à l'heure actuelle, il est bien peu de localités où on ne trouverait pas un serrurier capable de faire, tout au moins, une réparation de fortune, en attendant mieux.

En second lieu, c'est un fait d'observation que l'avarie redoutée ne se produit, pour ainsi dire, jamais. Sur la Marne, par exemple, où des portes entièrement métalliques sont en service depuis une quarantaine d'années, on n'a pas le souvenir que des bordages aient été crevés par des chocs de bateaux. Cependant la tôle de ces bordages est d'une épaisseur insuffisante (0 m. 004) ; à certaines portes elle s'est usée, elle s'est coupée, elle a dû être renouvelée ; mais il n'y a pas eu d'accident. La même constatation a été faite, sur le canal de l'Aisne à la Marne pour des portes entièrement métalliques remontant à 1847, sur le canal de l'Oise à l'Aisne pour des portes en service depuis 1890. Sur ce point, d'ailleurs, le raisonnement est d'accord avec l'observation.

Le bordage étant fixé sur la face amont des vantaux ne peut être choqué par un bateau que dans les deux cas suivants : le bateau, avalant, vient heurter la porte d'amont non encore ouverte ; ou bien, s'il n'a pas suffisamment amorti son erre dans la longueur du sas, il aborde la porte d'aval fermée. Mais dans les deux cas, le niveau de l'eau est tel que c'est la

passerelle de service, en saillie sur la face amont des vantaux, qui reçoit le choc. Et en fait, les avaries aux passerelles sont très fréquentes. Il arrive aussi très souvent que des chocs se produisent à la face aval des vantaux et qu'il en résulte des détériorations des pièces de l'ossature ; c'est pour parer à cet inconvénient que certains ingénieurs ont le soin de fixer des fourrures en bois d'épaisseur suffisante sur celles de ces pièces qui sont le plus exposées (voir planche LXII, page 361). Mais *l'expérience prouve que la crainte de voir les bordages en tôle crevés par les chocs des bateaux, n'est pas justifiée.*

Cette objection écartée, on peut faire valoir en faveur du bordage en tôle des avantages très sérieux. L'étanchéité est parfaite. Avec les épaisseurs de 7 à 8 millimètres aujourd'hui couramment pratiquées, la durée ne saurait différer sensiblement de celle de l'ossature¹. Enfin, au point de vue de la rigidité, la tôle qui, sur la face d'amont du vantail est rivée à toutes les pièces de l'ossature, constitue la meilleure consolidation que l'on puisse rêver pour les assemblages.

Dans le système mixte, on ne peut compter sur le bordage en bois pour concourir à la rigidité du vantail ; on doit en faire complètement abstraction dans la consolidation des assemblages. De là ces larges goussets², placés aussi bien sur la face amont que sur la face aval et ensuite recouverts par les madriers du bordage, dont la planche LXV (page 370) fournit un exemple marqué. En ce qui concerne l'étanchéité et la durée, elles sont les mêmes que dans les portes en bois et quelque facile que puisse être le remplacement des madriers, simplement boulonnés sur les pièces métalliques de l'ossature, un chômage n'en est pas moins nécessaire pour procéder à un renouvellement complet du bordage.

1. Le fait, relevé sur la Marne, d'une perforation de la tôle qui n'a pu être attribuée qu'à l'action chimique de certains coquillages, paraît devoir être considéré comme exceptionnel et dû à des causes locales.

2. La nécessité d'avoir recours à des consolidations spéciales des assemblages semble bien donner l'explication du fait, constaté plus haut, que les portes mixtes sont plus coûteuses que les portes métalliques.

En résumé nos préférences sont acquises aux portes entièrement métalliques.

187. Comparaison entre les portes busquées et non busquées. — Les portes à deux vantaux non busquées, dont l'écluse de Bourg-le-Comte offre l'exemple, unique jusqu'ici croyons-nous, ne peuvent être employées qu'avec les chutes exceptionnelles qui permettent l'établissement d'un masque entre les murs de fuite, c'est-à-dire dans des cas très rares; la comparaison se trouve en réalité ramenée à celle des portes à deux vantaux busqués avec les portes à un vantail.

Les premières ont incontestablement l'avantage, qui n'est assurément pas négligeable, de conduire à la moindre longueur de bajoyers; du moins cet avantage ne peut-il leur être disputé que par les portes à rabattement et pour les portes d'amont seulement. Il faut dire aussi qu'elles exigent l'emploi de pièces horizontales de moindre longueur, partant de moindre résistance et de moindres dimensions transversales; si bien que deux vantaux busqués sont, en général, moins coûteux qu'un vantail unique. Les portes busquées sont donc plus économiques comme premier établissement, mais sur tous les autres points, il n'est pas douteux que les portes à un seul vantail sont supérieures.

Avec les portes busquées, une précision rigoureuse est indispensable dans la construction et dans l'ajustage des vantaux, pour qu'ils puissent s'appuyer exactement sur le busc et les chardonnets, en même temps qu'ils butent l'un contre l'autre sur toute la hauteur. S'ils sont un peu trop longs, ils ne s'appuient pas sur le busc et supportent un excès de fatigue; s'ils sont un peu trop courts, ils s'appuient bien sur le busc, mais ils laissent un vide entre eux et lorsque, sous la pression de l'eau, ils viennent buter l'un contre l'autre par le haut, c'est qu'ils se sont gauchis au grand détriment des assemblages.

Les portes à vantail unique ne sont pas sujettes à ces incon-

vénients ; que celui-ci soit un peu plus ou un peu moins long, il portera toujours sur la feullure opposée au tourillon et pour que le contact avec les maçonneries soit parfait sur tout le pourtour, il suffit que les faces de l'entretoise inférieure et des deux montants extrêmes se trouvent dans un même plan. Cette unique condition, à laquelle doivent, d'ailleurs, satisfaire aussi les vantaux des portes busquées, est facile à remplir.

De ce fait seul qu'il n'est pas besoin d'une aussi grande précision dans la construction et l'ajustage, il résulte que les remplacements sont plus faciles et que l'étanchéité au contact des maçonneries est mieux assurée.

Le vantail unique n'est pas soumis aux efforts de torsion qui proviennent surtout du gauchissement résultant d'un ajustage imparfait, ainsi que nous l'avons déjà dit ; il n'a pas non plus à supporter les réactions transversales provenant, dans les portes busquées, de la butée d'un vantail contre l'autre. Les conditions de résistance sont donc infiniment plus simples et se prêtent à un calcul plus facile et plus rigoureux à la fois.

Enfin, les portes busquées transmettent aux bajoyers des efforts transversaux qui tendent à les renverser, tandis que les portes à vantail unique ne transmettent aux maçonneries que des efforts parallèles à l'axe longitudinal de l'écluse.

Voilà pour la construction ; au point de vue de l'exploitation, les avantages ne sont pas moindres.

Avec un vantail unique, pour ouvrir ou fermer la porte, une seule manœuvre suffit au lieu de deux. Fût-elle un peu plus longue que celle de l'un des vantaux d'une porte busquée, elle sera toujours plus prompte que celle qui consiste à manœuvrer successivement les deux vantaux en passant d'un bajoyer à l'autre, ce qui oblige souvent l'éclusier à faire le tour de son écluse. Presque toujours, à la vérité, il se fait aider par les mariniers ou les charretiers, mais c'est là une pratique qui n'est pas sans inconvénients, ces auxiliaires improvisés pouvant, par hâte ou par inexpérience, commettre des imprudences préjudiciables aux ouvrages.

Dans le cas d'écluses accolées, comme celles du canal Saint-Denis et de la dérivation de la Scarpe, toutes les manœuvres peuvent être concentrées sur le terre-plein qui sépare les deux sas, sous la main et à la disposition exclusive des éclusiers, et en supprimant toute gêne pour le halage ; c'est là une combinaison des plus recommandables.

Dans les deux cas que nous venons de citer la manœuvre se fait mécaniquement, au moyen de l'eau sous pression. Mais, si l'intervention d'une machinerie plus ou moins compliquée est justifiée dans l'une et l'autre espèce par l'importance du mouvement de la navigation, il ne faudrait pas croire que ce soit là une conséquence obligée de l'adoption des portes à vantail unique, au moins tant qu'il ne s'agit que d'écluses de moyenne largeur. L'expérience des portes busquées des écluses de la Seine prouve que des vantaux de près de 7 mètres de largeur peuvent se manœuvrer aisément, sinon directement à la main, du moins, par les procédés ordinaires, au moyen d'un cric avec arc denté ou crémaillère.

En résumé, si on établit le bilan des avantages et des inconvénients des portes à vantail unique par rapport aux portes busquées, on trouve : au passif, une certaine augmentation dans le cube des maçonneries des écluses et dans les quantités de matériaux employées à la confection des portes ; à l'actif, simplification dans la préparation des projets, plus grande facilité dans la construction, la pose et l'entretien, simplification et concentration des manœuvres. Dans ces conditions il n'y a pas lieu de s'étonner que l'emploi des portes à vantail unique se soit beaucoup étendu depuis quelques années, et nous pensons qu'il est appelé à se repandre encore davantage, dans l'avenir, au moins sur les voies à exploitation intensive.

CHAPITRE IX

EMPLACEMENT, ABORDS ET ACCESSOIRES DES ÉCLUSES

§ 1

ÉCLUSES EN RIVIÈRE

188. Positions respectives du barrage et de l'écluse.

— Le barrage et l'écluse sont les deux éléments constitutifs de toute retenue.

Le barrage est forcément établi dans le lit naturel du cours d'eau ; l'écluse peut être accolée immédiatement au barrage et placée, comme lui, *en rivière* ; elle peut aussi être placée en dehors, dans un bras artificiel créé à cet effet, *en dérivation*. Occupons-nous d'abord des écluses en rivière.

L'écluse est nécessairement construite le long de la rive où s'effectue le halage ; c'est également en vue de rapprocher autant que possible du chemin de halage le chenal suivi par les bateaux, lorsque la rivière est rendue à son cours naturel, qu'on accole généralement la passe navigable au bajoyer du large de l'écluse (fig. 81, page 438). Cette dernière doit évidemment être placée dans la direction du cours de l'eau et, c'est un point qu'il n'est pas inutile de signaler ici, sa bonne orientation a une grande importance au point de vue de l'exploitation. La passe navigable AB doit être normale à cette même direction à laquelle le reste du barrage peut être perpendiculaire ou oblique.

L'obliquité, selon qu'elle est prononcée dans un sens ou dans l'autre (BC' ou BC'' de la figure), a pour effet de jeter le courant sur la tête aval de l'écluse ou, ce qui est également fâcheux, sur la berge opposée à celle-ci. Quand il s'agit d'un

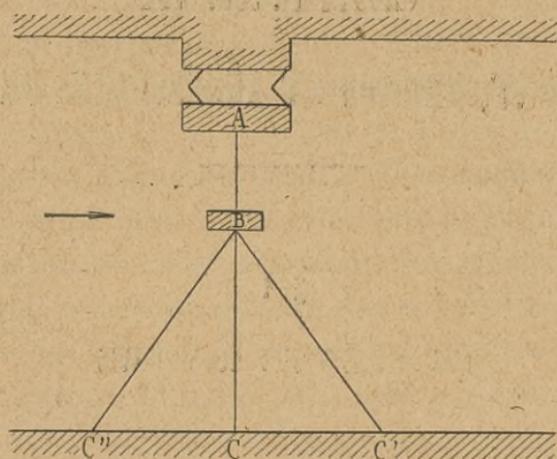


Fig. 81

barrage mobile, il n'est pas nécessaire de chercher dans un allongement de l'ouvrage la possibilité d'un supplément plus ou moins effectif de débit ; il est donc préférable de le placer tout entier normalement au courant, c'est-à-dire normalement à l'écluse (direction ABC de la figure). Reste à savoir à quelle hauteur ; doit-on, par exemple, le rattacher à la tête amont ou à la tête aval ? La question est délicate, surtout si l'écluse a une grande longueur.

Le barrage rattaché à la tête amont a l'inconvénient de créer, à côté de l'écluse, un courant latéral faisant appel, qui peut entraîner les bateaux avalant sur le musoir du bajoyer du large ou même dans le barrage. En outre, un courant plus ou moins vif longe le bajoyer du large dans toute sa longueur ; sice dernier n'a pas été solidement fondé, il peut être affouillé.

En rattachant le barrage à la tête aval on évite ces deux inconvénients, mais c'est l'accès de cette tête qui devient difficile à raison des remous résultant du voisinage immédiat

de la chute, sans compter les dépôts qui peuvent se produire dans le chenal, en aval de l'écluse.

On ne peut trouver les éléments déterminants d'un choix que par l'étude très attentive de la configuration du cours d'eau et des circonstances locales, dans chaque espèce. Toutefois, la solution qui consiste à rattacher le barrage à la tête aval paraît la plus généralement adoptée.

189. Estacades. — Les inconvénients inhérents à l'une et à l'autre solution peuvent être atténués dans une large mesure par l'établissement, à l'amont et à l'aval de l'écluse, d'estacades d'embouquement en charpente, qui en facilitent l'entrée à tous égards et dont l'emploi passe de plus en plus dans la pratique. A titre d'exemple, la figure 82 montre les disposi-

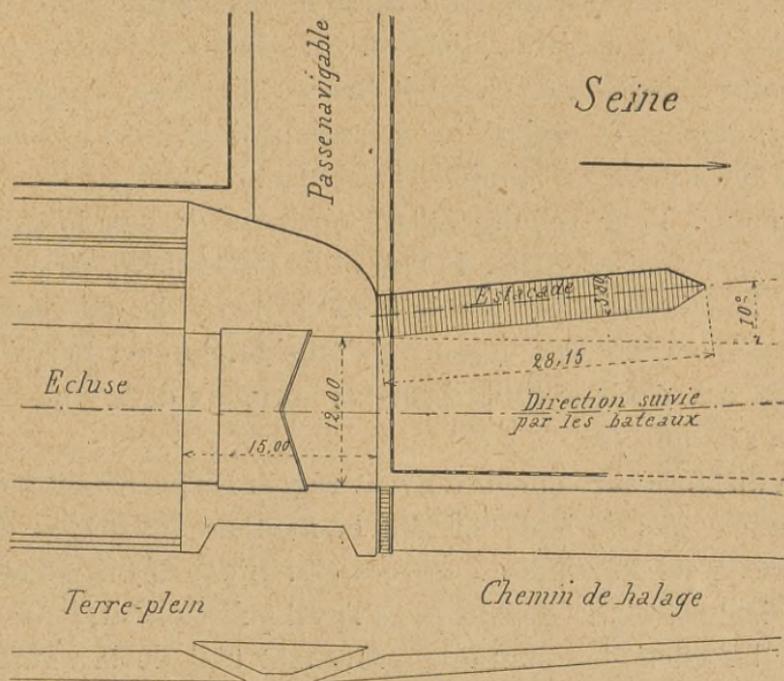


Fig. 82

tions d'ensemble de l'estacade établie à la tête aval de l'écluse de Champagne sur la Haute-Seine.

La planche LXXVIII (page 441) fait suffisamment connaître

les détails de la construction. Un fort massif d'enrochements, échoués autour des pieux qui en constituent la partie essentielle, consolide l'estacade et intercepte les courants venant du large. Au-dessous du niveau normal de la retenue, des madriers horizontaux, suffisamment rapprochés, empêchent que les moellons de l'enrochement ne puissent rouler dans le chenaux uivi par la navigation ; au-dessus du même niveau, des madriers verticaux jointifs constituent une glissière qui guide les bateaux dans leur mouvement. A la partie supérieure, on trouve un plancher (non jointif) sur lequel les hommes peuvent circuler, pour les manœuvres, et des poteaux d'amarrage.

190. Terre-plein. — Dans une écluse en rivière, le bajoyer du large n'a, en couronnement, que la largeur commandée par les exigences de la stabilité et les sujétions d'autre nature auxquelles il peut avoir à satisfaire. Au contraire, le terre-plein qui joint le bajoyer de rive doit être vaste et bien dégagé pour rendre faciles et rapides les opérations dont il est le théâtre.

Le terre-plein est limité à l'amont et à l'aval par les murs en retour. Pour réduire autant que possible leur longueur, les berges sont revêtues, de l'un et de l'autre côté, de perrés, dont l'inclinaison est portée à 45° le long de ces murs et s'adoucit au fur et à mesure qu'on s'en éloigne, jusqu'à ce qu'elle soit égale à celle des talus normaux de la voie navigable ($2/3$ ou $1/2$).

La distance sur laquelle doivent régner les perrés est nécessairement très variable suivant la hauteur des berges et la nature du sol dont elles sont formées. D'une façon générale, ils doivent être plus développés à l'aval qu'à l'amont, pour prévenir les effets des courants provenant tant de la chute du barrage que du jeu des ventelles de l'écluse.

Quant à la largeur du terre-plein, il résulte de ce qui précède qu'elle sera normalement égale à celle du chemin de halage augmentée de la hauteur des bajoyers.

191. Moyens d'amarrage. — Les bateaux doivent trouver aux écluses des moyens de s'amarrer aisément et solidement : bornes, champignons ou anneaux¹, les unes plantées dans le terre-plein, les autres scellés sur le couronnement des bajoyers. Quand le sas ne peut recevoir qu'un bateau, les moyens d'amarrage doivent être suffisants pour frapper quatre amarres, deux à l'avant et deux à l'arrière. Quand le sas peut recevoir plusieurs bateaux, les moyens d'amarrage doivent se multiplier en proportion. On ajoute parfois, dans le parement vertical des bajoyers, à diverses hauteurs, quelques organeaux ou boucles d'amarre scellés, bien entendu, dans des boutisses et entièrement masqués dans des cavités *ad hoc*!

192. Echelles de sauvetage. Escaliers. Gares à batelets. — Il ne faut pas omettre de placer, bien entendu aussi dans des refouillements spéciaux où elles sont complètement effacées, des échelles de sauvetage allant du couronnement des bajoyers au niveau du bief d'aval ; ces échelles doivent être distribuées de l'un et l'autre côté, leur nombre en rapport avec la longueur du sas.

En amont et en aval du terre-plein, immédiatement contre les murs en retour, il est utile d'avoir des escaliers qui donnent accès à la rivière et qui permettent à l'éclusier de surveiller de plus près le niveau des biefs.)

Il convient que ces escaliers présentent, à peu près au niveau de l'eau, un palier qui facilite l'accostage des batelets ainsi que les embarquements et débarquements. Il convient également de ménager dans la berge, immédiatement en amont de l'escalier d'amont et en aval de l'escalier d'aval, un garage où les batelets de service puissent trouver un abri, hors de l'atteinte des bateaux de commerce.

1. Tous les détails sur ces ouvrages accessoires, bornes, champignons, anneaux, organeaux, boucles d'amarre, échelles de sauvetage etc... ont été donnés dans le volume intitulé : *Rivières à courant libre*, au chap. IV, § 6, Quais.

193. Echelles hydrométriques. Télégraphe. Téléphone. Tableau pour l'affichage. — Des échelles hydrométriques sont, généralement, fixées à chaque tête. Toutes les voies de quelque importance sont, aujourd'hui, pourvues de communications électriques ; il n'est presque pas d'écluse où l'on ne trouve le télégraphe ou le téléphone. Les bureaux télégraphiques des écluses peuvent être ouverts au public, mais ne reçoivent que les télégrammes *bureau restant*.

Enfin chaque écluse est munie d'un tableau où on inscrit, chaque jour, le mouillage qu'offrent aux bateaux les écluses les plus voisines d'amont et d'aval. Les mariniers peuvent ainsi régler leur marche et leur chargement suivant l'état des eaux. On y affiche également les annonces de crues, les avis de chômages normaux ou accidentels, les règlements de police, en un mot, tout ce qu'il peut être utile de porter à la connaissance des usages de la voie navigable.

194. Maison éclusière. — La maison affectée au logement de l'éclusier est généralement placée en bordure du terre-plein, tandis que les magasins destinés à abriter le matériel de l'Etat et les communs à l'usage de l'éclusier sont situés en arrière et moins accessibles au public. Le rez-de-chaussée doit être surhaussé suffisamment pour être insubmersible. Il est naturel de placer la maison éclusière au milieu du terre-plein, à mi-distance des deux têtes, de manière qu'il soit possible de tout surveiller à l'aide de ses vues de face et de côté. S'il y en a deux, chacune d'elle sera rapprochée d'une des têtes.

Il convient que les éclusiers soient à l'aise avec leur famille dans les maisons qui leurs sont réservées, que les logements soient salubres, propres et disposés suivant les habitudes du pays. On doit considérer comme une nécessité absolue d'avoir au moins trois chambres logeables, une pour les parents et une pour les enfants de chaque sexe. Une cave et un grenier, un water-closet, une écurie, un bûcher, un puits sont des

accessoires obligés, si l'on veut que les postes soient enviés et, par suite, occupés par des ouvriers de choix. Un jardin et des réserves de quelque importance prises sur les dépendances de la voie navigable ne sont pas moins nécessaires.

En un mot, il ne faut jamais perdre de vue que l'éclusier doit demeurer constamment à son poste, avoir toujours à s'y occuper, soit pour lui, soit pour l'administration et, autant que possible, s'y plaire.

Ces considérations peuvent conduire à adopter des dispositions différentes en rase campagne et dans les agglomérations de quelque importance. On ne voit pas d'ailleurs la nécessité de reproduire le même type sur toute l'étendue de la même voie navigable, car il n'y a aucune raison pour astreindre le personnel à une uniformité de logement qui ne cadrerait pas avec ses convenances.

Le logement de l'éclusier sera disposé en vue de l'installation du télégraphe ou du téléphone ; il suffira d'une petite pièce facilement accessible au public d'une part, réunie au logement d'autre part, mais exclusivement réservée au service des communications électriques et permettant, au besoin, le secret des transmissions. On conçoit, d'ailleurs, l'utilité de soustraire les appareils aux dangers que pourrait leur faire courir leur installation dans un local affecté en même temps à l'usage de la famille.

En ce qui concerne le magasin, il y a lieu de le séparer bien nettement de tout ce qui est logement et communs ; si le voisinage est nécessaire, la distinction ne l'est pas moins ; c'est un point sur lequel il est inutile d'insister.

Toutes les constructions doivent présenter un aspect agréable à l'œil, surtout dans le voisinage des villes, et il faut exiger des éclusiers qu'ils les maintiennent intérieurement et extérieurement dans un parfait état d'entretien et de propreté. Quand la maison est bien tenue, l'écluse est bien tenue, et il est rare que l'éclusier ne soit pas un bon agent.

§ 2

ÉCLUSES EN DÉRIVATION

195. Difficultés que peut présenter l'établissement d'une écluse en rivière. — Il peut se faire qu'à l'emplacement du barrage, emplacement commandé par d'autres considérations, la largeur de la rivière soit assez faible pour qu'on hésite à la diminuer encore de la largeur de l'écluse ; d'autre part, les fondations sont généralement plus difficiles en rivière que dans une fouille pratiquée à l'intérieur des terres.

Il se peut encore que le voisinage d'usines ou l'existence de seuils naturels s'oppose à un relèvement efficace du plan d'eau immédiatement à l'aval du barrage.

Il se peut enfin que cette partie du cours d'eau présente des sinuosités gênantes qu'il semble utile d'éviter.

C'est en vertu de considérations de ce genre qu'on a souvent été amené à abandonner momentanément le lit naturel du cours d'eau et à le remplacer par un lit artificiel, commençant à l'amont du barrage et finissant à une distance plus ou moins grande à l'aval, dans lequel on place l'écluse. Ce lit artificiel constitue une *dérivation* ; l'écluse prend alors le nom d'*écluse en dérivation*.

196. Différents genres de dérivations. — Si les dérivations ont juste la longueur nécessaire pour tourner les difficultés qui s'opposent à l'établissement en rivière ou à la fondation d'une écluse, le caractère de la navigation n'est, à vrai dire, pas changé.

Il n'en est plus tout à fait de même, et la navigation commence à prendre un caractère mixte, si les dérivations s'allongent et se substituent à la rivière sur un parcours notable. C'est le cas de l'Yonne canalisée, par exemple, où les trois

dérivations de Gurgy, de Joigny et de Courlon ont respectivement 5 km. 007, 3 km. 574, 4 km. 650 de longueur et forment ensemble 12 0/0 du parcours total entre Auxerre et Montereau.

Au fur et à mesure que les dérivations constituent une fraction plus importante de la longueur totale, le caractère mixte de la navigation s'accroît; et s'il arrive que la rivière ne soit plus empruntée que sur de petites sections, entre lesquelles s'étendent de longues dérivations pourvues d'écluses multiples, la navigation devient en réalité une navigation en canal, avec certaines sujétions en plus toutefois. Tel est le cas de la Meuse française où l'on trouve des dérivations atteignant jusqu'à 20 et 30 kilomètres, que séparent de courtes rentrées en rivière commandées par la présence d'une ville ou par d'autres considérations. Du reste la voie navigable ainsi constituée porte officiellement le nom de *Branche Nord du Canal de l'Est*.

Nous nous occuperons surtout du cas où la dérivation, pourvue d'une écluse unique qui rachète la chute d'un barrage, est bien un accessoire de la canalisation.

197. Section transversale et tracé. — La section transversale de la dérivation doit nécessairement présenter, au plafond, une largeur suffisante pour que les croisements puissent s'effectuer aisément dans tous les cas. L'inclinaison des talus de la cuvette, susceptible de varier avec la nature du sol, est en général de 3 de base pour 2 de hauteur; ces talus doivent s'élever un peu au-dessus du niveau des plus hautes eaux navigables dans la rivière, à l'origine de la dérivation.

La cuvette est bordée: d'un côté, d'un chemin de halage, large en général de 4 mètres, faisant suite, autant que possible, à celui de la rivière; de l'autre côté, d'un chemin de contrehalage. Il est bon de donner à ce dernier la même largeur qu'au chemin de halage; mais dans aucun cas on ne peut descendre au-dessous de 2 mètres.

Ces chemins sont établis en remblai, en utilisant d'abord les déblais provenant de l'ouverture de la cuvette, et on les fait insubmersibles toutes les fois qu'il n'en doit pas résulter de gêne sensible pour la navigation. Si pour être insubmersibles, ils devaient être placés à un niveau gênant pour la traction des bateaux, on les ramènerait au niveau le plus convenable et on les doublerait de cavaliers qui, eux, seraient insubmersibles.

Il importe, en effet, que de toute façon les crues ne puissent envahir la dérivation par déversement ; elles y causeraient les plus graves avaries et rendraient critique la situation des bateaux qui s'y réfugient volontiers en temps d'inondation. La

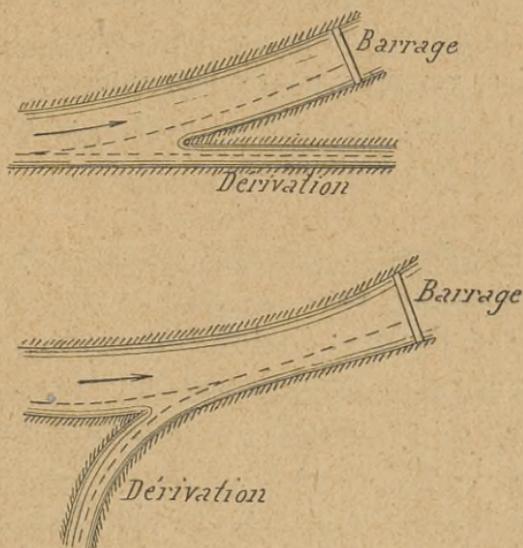


Fig. 83

revanche qu'on donne d'habitude au sommet des remblais, par rapport aux plus hautes crues connues, est de 0 m. 70 à 1 mètre, pour parer à l'action des lames et aux autres imprévus.

Le tracé d'une dérivation de peu de longueur, comme celle que nous avons ici en vue, est toujours à peu près commandé, mais la disposition de l'entrée doit satisfaire à certaines conditions essentielles.

Placée nécessairement dans une courbe concave de la berge, elle doit être assez éloignée du barrage pour que les bateaux ne soient pas sollicités trop violemment par les courants résultant du fonctionnement de cet ouvrage. D'autre part, il convient que l'axe de la dérivation fasse un angle aussi petit que possible avec l'axe du chenal naturel, dut-on, pour satisfaire à cette condition, avoir recours à un rebroussement (fig. 82). Ces précautions sont indispensables pour atténuer les inconvénients de la situation, toujours délicate, d'un bateau qui entre dans la dérivation ou qui en sort, alors qu'il se trouve placé partie en eau calme, partie dans un courant plus ou moins prononcé. Ces inconvénients peuvent être encore accentués par les dépôts qui ne manquent pas de se produire à l'entrée de la dérivation pendant les crues, les eaux troubles de la rivière venant y perdre leur vitesse. Par contre, ils peuvent être atténués, dans certains cas, par la construction d'une estacade d'embouquement.

198. Profil en long. — Le profil en long de la dérivation est surtout intéressant dans la partie supérieure, comprise entre l'origine et l'écluse; il doit être envisagé au point de vue du plan d'eau et au point de vue du plafond.

Le plan d'eau est commandé par la retenue du barrage qui règle le niveau du bief où la dérivation a son origine; il ne s'élève pas au-dessus du niveau des plus hautes eaux navigables. On doit admettre que la dérivation est fermée lorsque ce dernier niveau est dépassé en rivière.

En ce qui concerne le plafond, on s'est, dans bien des cas, contenté de fixer sa position de telle sorte que le mouillage dans la dérivation, au-dessous du niveau normal de la retenue du barrage, dépassât de la quantité habituelle (0 m. 20 à 0 m. 40) l'enfoncement maximum des bateaux. Pour être suffisante, cette condition suppose qu'au déclin des crues le barrage pourra être relevé au moment où le niveau de l'eau dans la rivière, rendue à son cours naturel, atteint précisément celui

de la retenue normale. Or le plus souvent ce relevage ne peut avoir lieu que par un niveau plus bas des eaux ; c'est donc *d'après ce dernier que doit être déterminé le niveau du plafond à l'origine de la dérivation*. Autrement, il y aurait après chaque crue une interruption forcée de navigation, pendant tout le temps où, la passe navigable étant interceptée par les manœuvres de relevage, les bateaux chargés ne trouveraient pas encore un mouillage suffisant dans la dérivation.

Il est d'autant plus nécessaire de donner à la partie supérieure de la dérivation un surcroît de profondeur que des dépôts s'y produisent inévitablement, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut.

Quelquefois on donne au plafond une légère pente longitudinale, de manière à faciliter la production d'un courant en vue de créer des chasses lorsqu'on ouvre les ventelles des portes de l'écluse ; mais cette disposition est loin d'être générale ; le plus souvent on règle le plafond horizontalement.

199. Position de l'écluse dans la dérivation. — Le plus souvent, l'écluse est placée près de l'extrémité aval de la dérivation ; on y trouve en effet les trois avantages suivants : le niveau du plan d'eau sur toute la longueur de la dérivation est celui du bief d'amont, ce qui réduit considérablement le cube des déblais à effectuer pour l'ouverture de la cuvette ; l'écluse est à l'abri des envasements venant d'amont, qui se déposent dès l'entrée de la dérivation ; quant aux envasements venant d'aval, elle en est suffisamment préservée par les courants résultant du jeu des ventelles.

Cependant il est nécessaire, comme nous l'avons dit plus haut, que les dérivation soient insubmersibles et puissent être fermées lorsque le niveau de l'eau dans la rivière, à leur origine, dépasse celui des plus hautes eaux navigables. Si on place l'écluse à l'entrée, il suffit de surhausser la tête ainsi que la porte d'amont et de rattacher cette tête aux digues de protection, pour couvrir la dérivation contre les inondations. Cette

solution est avantageuse quand la dérivation est très courte¹.

C'est seulement lorsqu'elle est plus longue que l'économie réalisée sur les déblais, en plaçant l'écluse à l'extrémité aval, est suffisante pour justifier l'établissement, à l'extrémité amont, d'un ouvrage de garde spécial qui devient alors indispensable.

Il y a encore lieu d'envisager la position de l'écluse par rapport à l'axe de la dérivation. Au lieu de la placer dans l'axe même, comme on l'a fait le plus souvent, il y a avantage à la placer sur le côté, le long du chemin de halage, bien entendu.

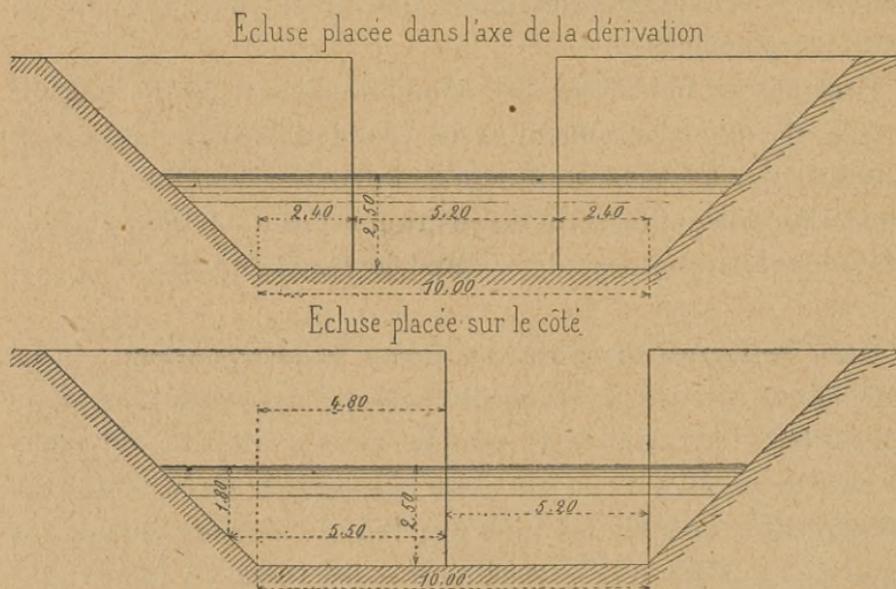


Fig. 84

On crée ainsi le long de la berge opposée un garage, grâce auquel les bateaux qui attendent leur tour de passage peuvent s'approcher de l'écluse jusqu'à la toucher, de manière à réduire autant que possible les pertes de temps, sur l'importance desquelles nous avons insisté plus haut (page 396). Le croquis ci-dessus (fig. 84), établi dans le cas d'une écluse du type légal, fait bien ressortir cet avantage.

1. On peut citer comme exemple les dérivations éclusées établies lors de la canalisation du Mein, entre Francfort et le Rhin.

200. Écluse de garde. — Lorsque la dérivation présente une certaine longueur et que l'écluse est placée à l'extrémité aval, la construction d'un ouvrage de garde spécial à l'extrémité amont s'impose. Cet ouvrage, qui prend le nom d'*écluse de garde*, consiste généralement en une tête d'écluse munie d'une porte qui s'ouvre vers la rivière. On ferme la porte dès que le niveau de l'eau dans cette dernière dépasse celui des plus hautes eaux navigables ; la dérivation se trouve ainsi protégée contre l'invasion des crues.

La tête d'écluse en question ne mérite pas une description spéciale ; elle est, de tout point, semblable aux têtes d'une écluse à sas ordinaire ; on y rencontre successivement le mur de tête d'amont, le musoir d'amont, la rainure à poutrelles d'amont, l'enclave, le chardonnet, le mur de fuite avec la rainure à poutrelles d'aval, le musoir et le mur de tête d'aval.

Quelquefois l'écluse de garde est munie de deux portes s'ouvrant en sens contraire. Alors on peut, non seulement protéger la dérivation contre les crues, mais encore la maintenir en eau lorsque la retenue du barrage est momentanément effacée, par exemple, pour réparer quelque avarie ou pour laisser passer les glaces flottantes. Dans ce dernier cas, la dérivation forme pour les bateaux comme une sorte de port de refuge.

Des ventelles ne sont pas indispensables dans les portes des écluses de garde, ces portes n'étant manœuvrées que quand l'eau est au même niveau dans la rivière et dans la dérivation ; mais elles sont toujours utiles pour assurer l'alimentation de cette dernière. Il peut être également prudent de ménager des aqueducs longitudinaux dans les bajoyers, soit en vue de créer des chasses, soit pour se réserver, comme sur la Moselle, par exemple, la possibilité de faire passer un volume d'eau suffisant pour créer une force motrice à l'écluse à sas située à l'extrémité aval de la dérivation.

En tout cas, il est essentiel que l'écluse de garde n'impose aucune gêne à la navigation. Il n'y a pas ici d'arrêt forcé

comme à une écluse à sas ; il importe que le passage soit toujours facile. Cette condition est d'autant plus nécessaire que les ouvrages de ce genre sont situés à l'entrée même des dérivation, c'est-à-dire en un point où la manœuvre des bateaux qui se trouvent à un moment donné, partie en eau calme, partie dans un courant plus ou moins prononcé, est particulièrement délicate. C'est dans le but d'y satisfaire qu'on a quelquefois donné sur une même voie plus de largeur aux écluses de garde qu'aux écluses à sas. Si, par exemple, celles-ci ont la largeur légale de 5 m. 20, celles-là mesurent 8 mètres de largeur.

La dérivation devant avoir son origine dans une berge concave, il arrive souvent que l'écluse de garde est voisine du coteau ; il suffit alors d'un rattachement insubmersible de très faible longueur pour protéger contre l'invasion des crues toute la portion de la vallée située entre le coteau et la digue, également insubmersible, construite le long de la dérivation du côté de la rivière. La digue établie de l'autre côté de la dérivation n'a plus besoin d'être élevée au-dessus des plus hautes crues ; il suffit qu'elle dépasse légèrement le niveau des plus hautes eaux de navigation à l'origine de la dérivation.

Toutefois cette disposition peut présenter de sérieux inconvénients à un moment donné. Nous avons montré ailleurs¹ combien le niveau des plus hautes eaux de navigation dans une rivière était chose incertaine ; il suffit de la reconstruction d'un pont ou du développement de la traction à vapeur pour le relever notablement. Si le cas se produit et si la dérivation reste avec ses dispositions primitives, elle devra, au déclin des crues, rester fermée pendant un certain temps, alors que la navigation est déjà possible en rivière ; il y aura interruption de navigation. Pour remédier à cet inconvénient, on est conduit à transformer l'écluse de garde en une écluse à sas, qui permette la communication entre la rivière et la

1. *Rivières à courant libre*, chap. I, § 4, article 22.

dérivation alors même qu'il y a une dénivellation plus ou moins importante de l'une à l'autre. C'est ce qui a été fait, notamment, pour les dérivations de Joigny et de Courlon de l'Yonne canalisée, entre Laroche et Montereau.

201. Ponts sur écluses. — Entre la dérivation et la rivière, une île se trouve créée; il peut être nécessaire de lui donner accès par un pont. Dans ce cas, les bajoyers de l'écluse offrant des culées toutes préparées, il est naturel de chercher à les utiliser. Or, le pont à construire doit être assez élevé pour que les plus hauts chargements des bateaux puissent passer dessous. Il y a donc avantage évident à le placer dans la partie de l'écluse où les bajoyers présentent la plus grande hauteur au-dessus du plan d'eau, c'est-à-dire dans la partie qui correspond au bief d'aval, c'est-à-dire enfin sur les murs de fuite auxquels on donne, à cet effet, une longueur suffisante.

Le pont doit satisfaire aux prescriptions de la loi du 5 août 1879; il doit donc laisser, au-dessus des plus hautes eaux navigables à l'aval de l'écluse, une hauteur libre de 3 m. 70 au moins, pour les écluses de 5 m. 20 de largeur. S'il s'agit d'écluses de plus grandes dimensions, la hauteur libre doit être plus grande; pour des écluses de 12 mètres de largeur, par exemple, elle atteint 5 mètres et même 5 m. 50. On conçoit, en effet, que la hauteur du chargement possible augmente avec la largeur du bateau, sans que les conditions de stabilité de ce dernier soient amoindries.

Nous n'avons pas à nous occuper de la largeur entre les têtes, ni du mode de construction des ponts sur écluses; ils dépendent des exigences de la circulation sur les voies de terre auxquelles ces ponts donnent passage; mais nous devons examiner attentivement quelles peuvent être les conséquences de leur établissement au point de vue de la circulation et de la traction des bateaux.

Dans nombre de cas, on a franchement interrompu le

halage ; on a, purement et simplement, surélevé, en tant que de besoin, les murs de fuite pour recevoir le tablier ou la voûte du pont. Alors le *débillage* est obligatoire ; le bateau est forcé de quitter la corde de halage, en arrivant au pont, pour la reprendre quand il l'a franchi ; il reste un certain temps sur sa vitesse acquise. Quels que soient les expédients imaginés pour faciliter cette manœuvre ¹, quelque rapide qu'elle ait été, la traction a été interrompue, et cela précisément au moment où le bateau avait besoin qu'elle fut le plus énergique, pour vaincre les résistances qui s'opposent à son mouvement dans l'écluse. Il en résulte forcément un retard qui s'ajoute aux lenteurs déjà trop grandes de l'éclusage. Les dispositions des ponts sur écluses, qui interrompent complètement le halage, ne sont donc pas à recommander.

Une solution déjà bien préférable a été adoptée aux écluses

1. En voici un, très simple et très économique, que nous avons appliqué jadis à l'écluse St-Bertin, sur le canal de Neuffossé, à St-Omer, où une passerelle fixe établie sur les murs de fuite rendait le débillage obligatoire. Une chaîne fixée, du côté du halage, à deux anneaux A et B scellés dans le

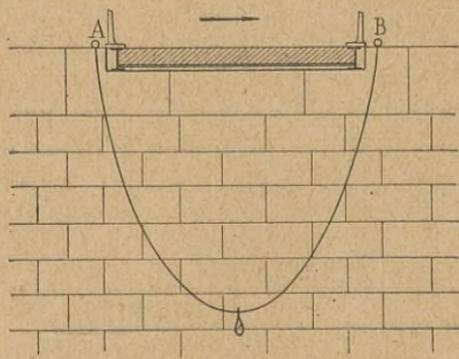


Fig. 85

couronnement du bajoyer, l'un à l'aval, l'autre à l'amont de la passerelle, passe sous le tablier (fig. 85). Sa longueur est un peu plus que double de la largeur de ce dernier ; elle est munie, en son milieu, d'un porte-mousqueton.

La traction ayant lieu dans le sens de la flèche, le charretier, quand il est obligé de débiller, prend le trait à la main et vient en A ; il amène la chaîne à lui, engage la boucle du trait dans le porte-mousqueton et laisse retomber la chaîne. Passant alors en B, il amène de nouveau la chaîne à lui et, avec elle, la boucle du trait qu'il détache vivement pour le reporter à son cheval et rebiller. L'interruption de la traction se réduit à fort peu de chose.

du canal Saint-Maurice, dérivation de la Marne canalisée (planche LXXIX, page 456)¹. On a construit à 1 m. 50 en arrière des murs de fuite deux culées spéciales pour le pont ; l'ouverture a été augmentée de 3 mètres, mais il reste de chaque côté, le long du bajoyer, une banquette où peuvent passer les mariniers, qui entretiennent ainsi l'impulsion du bateau et le dirigent d'une manière constante. Les poutres du tablier métallique ont été placées à 2 mètres au-dessus de la banquette, en sorte que le passage y est facile et les manœuvres aisées. Ces commodités données à la navigation n'ont d'ailleurs pas été acquises au prix d'une surélévation trop grande du tablier, qui eut imposé à la circulation sur la voie de terre une ascension gênante. On a, en effet, abaissé le dessus des murs de fuite sous le pont, et la différence de niveau avec le terre-plein de l'écluse a été rachetée au moyen d'escaliers que suivent les haleurs. On a concilié les intérêts en présence d'une façon heureuse et économique, en ce qu'on a tenu compte des divers besoins et qu'on n'a demandé à chacun d'eux que des sacrifices acceptables.

Des rampes, dont l'inclinaison ne dépasse pas 10 0/0, relie le terre-plein de l'écluse, les chemins de halage et de contre halage et les levées d'accès au pont. De cette manière la circulation, non seulement le long de la voie navigable mais encore entre celle-ci et la voie de terre qui la traverse, est assurée pour les animaux de trait, et aussi pour les voitures employées, le cas échéant, au defruitement des francs bords ou aux travaux d'entretien. C'est là le complément indispensable de tout pont sur écluse lorsqu'il intercepte ou transforme le passage le long des bajoyers.

Quoi qu'il en soit, la meilleure solution, au point de vue de la navigation, consiste à relever le pont et à augmenter son

1. La planche représente le pont de l'écluse de Gravelle avant l'augmentation du mouillage qui a été porté de 1 m. 60 à 2 m. 20 au minimum. A l'époque où a été fait le dessin, le plan d'eau dans le bief inférieur (bief de Charenton) était à l'altitude (30,62) ; il est maintenant à l'altitude (31,25).

ouverture, de telle sorte que les manœuvres s'exécutent comme s'il n'existait pas. Pour satisfaire à cette condition, il faut au moins d'un côté, sous le pont, un passage dont la largeur ne peut guère descendre au-dessous de 3 mètres, avec 2 m. 70 de hauteur libre, au minimum.

202. Danger des sous-pressions. — Les dérivations sont généralement ouvertes dans les dépôts d'alluvion qui occupent le fond des vallées, par conséquent souvent dans des sables ou des graviers perméables.

Sables ou graviers ne sont pas par eux-mêmes un obstacle au maintien de l'eau dans les dérivations. Ils s'étanchent assez vite par l'effet des eaux troubles qui y pénètrent; d'ailleurs une étanchéité complète n'est pas indispensable, puisqu'on dispose de tout le débit de la rivière pour l'alimentation.

Mais si le sol est très perméable et si, en temps de crue, la différence de hauteur est forte entre les niveaux du plan d'eau dans la rivière et dans la dérivation, les eaux de l'une pénètrent par sous-pression dans l'autre, soulèvent les dépôts qui en tapissaient le fond, détruisent la demi-étanchéité qui s'y était réalisée et peuvent, en outre, avoir des effets dangereux pour la conservation des talus et des digues.

En pareil cas, il est utile de pouvoir, sinon supprimer complètement les sous-pressions, du moins les réduire suffisamment pour qu'elles deviennent inoffensives. Il faut, à cet effet, se ménager la faculté d'exhausser dans les limites voulues le plan d'eau de la dérivation.

Pour cela, il peut devenir utile de relever la digue du côté du coteau, quand même ce relèvement ne serait pas nécessaire à tout autre point de vue. Si la dérivation était longue et que ce relèvement dût s'étendre trop loin, il y aurait lieu d'établir une seconde écluse de garde, intermédiaire entre la première et l'écluse à sas, comme on a dû le faire dans plusieurs dérivations de la Meuse et de la Moselle. Enfin, il faut nécessairement munir de ventelles les portes des écluses de garde.

Le remède est donc facile ; mais il n'était pas sans intérêt d'appeler l'attention sur l'éventualité de ces sous-pressions, qui causent bien des ennuis et des embarras dans les terrains fortement perméables, quand on n'a pas pris au moment même de la construction les précautions nécessaires pour y parer.

203. Avantages et inconvénients des dérivations. —

Dans tout ce qui précède, nous avons eu surtout en vue les dérivations d'une faible longueur, de la longueur juste suffisante pour éviter les difficultés qui s'opposent à l'établissement en rivière ou à la fondation de l'écluse correspondant à un barrage. Cependant il nous est arrivé de faire allusion à des dérivations d'un développement beaucoup plus considérable, telles, par exemple, que les trois dérivations de l'Yonne canalisée qui mesurent respectivement 5 k. 007, 3 k. 574, 4 k. 650, et qui remplacent des parties de rivières longues de 9 k. 499, 6 k. 127 et 8 k. 914.

Ces longues dérivations ont été jadis très en faveur ; on leur attribuait volontiers les avantages suivants.

Les bateaux y trouvent une eau sans vitesse, ce qui n'est pas seulement une garantie de sécurité, mais encore facilite les communications dans l'un et l'autre sens.

Les écluses s'y construisent en pleine terre, sur un emplacement choisi après sondages, par suite plus facilement qu'en lit de rivière ; elles sont moins exposées aux avaries et s'entretiennent plus commodément.

L'établissement d'une dérivation permet, parfois, d'éviter la construction d'un barrage, quand la partie de rivière abandonnée renferme des seuils naturels ou artificiels sur lesquels le barrage inférieur ne peut pas donner un mouillage suffisant. Toute modification est également évitée aux usines et aux affluents qui peuvent se rencontrer dans cette partie de rivière.

Enfin les dérivations diminuent le parcours en remplaçant

les portions les plus sinueuses du cours d'eau naturel ¹.

Ces longues dérivations compteraient-elles aujourd'hui d'aussi nombreux partisans qu'autrefois? Il est permis d'en douter et, pour notre part, nous n'hésitons pas à les signaler comme constituant, dans bien des cas, une solution fâcheuse. L'expérience prouve, en effet, qu'en regard des avantages souvrent plus apparents que réels, énumérés ci-dessus, elle comporte de sérieux inconvénients.

Tout d'abord les dérivations coûtent fort cher. Elles obligent à des acquisitions de terrains, d'autant plus onéreuses qu'elles morcellent les propriétés et qu'au voisinage des rivières ces dernières ont souvent plus de valeur; elles coupent tous les chemins, tous les cours d'eau et nécessitent le rétablissement des communications ou des écoulements d'eau au moyen d'ouvrages par dessus ou par dessous; nous avons expliqué plus haut comment il pouvait devenir nécessaire de leur donner une profondeur plus considérable que celle jugée d'abord suffisante et aussi de remplacer par une écluse à sas l'ouvrage de garde beaucoup moins coûteux primitivement établi; enfin l'entretien des parties de rivière délaissées peut, surtout depuis la loi du 8 avril 1898², imposer à l'Etat des charges d'autant plus sensibles qu'elles sont sans profit pour la batellerie.

Il n'y a pas d'avantage sérieux à faire quelques kilomètres en eau calme puisque les bateaux devant naviguer le reste du temps en rivière, doivent être armés et équipés en conséquence.

1. Les trois dérivations de l'Yonne canalisée, longues, ensemble de 13 k. 231, remplacent des portions de rivière d'une longueur totalé de 24 k. 540; la diminution de parcours est de 11 k. 309, soit de 46 0/0.

2. L'article 53 est ainsi libellé :

« Le curage des cours d'eau navigables ou flottables et de leurs dépendances, faisant partie du domaine public, est à la charge de l'Etat; néanmoins, un règlement d'administration publique peut, les parties intéressées entendues, appeler à contribuer au curage les communes, les usiniers, les concessionnaires des prises d'eau et les propriétaires voisins qui, par l'usage exceptionnel et spécial qu'ils font des eaux, rendent les frais du curage plus considérables. »

L'avantage résultant d'une diminution de parcours est aussi, le plus souvent, illusoire. Les bateaux qui passent de la rivière dans une dérivation y trouvent une section rétrécie ; la résistance de la voie augmente, et, à moins de subir des frais de traction plus considérables, il faut diminuer la vitesse de marche. Le moindre parcours ayant pour contre-partie une moindre vitesse, la durée du trajet ne varie guère.

Enfin, quand il s'agit de rivières où les bateaux naviguent par convois, il est généralement nécessaire de modifier la composition de ces derniers au passage de chaque dérivation, d'où perte de temps et d'argent.

En résumé, en dehors des cas particuliers qu'il faut toujours excepter, une navigation entièrement en rivière ou une navigation entièrement en canal nous paraît bien préférable à ce système intermédiaire qui ne fait, en général, que cumuler les inconvénients de l'une et de l'autre.

CHAPITRE X

EXPLOITATION

§ 1.

COMPARAISON AVEC LES RIVIÈRES A COURANT LIBRE

204. Entretien de la voie en général. — Nous ne reproduirons pas dans ce chapitre les indications que nous avons déjà données sous le même titre dans les *Rivières à courant libre* ; ce serait faire double emploi. Nous nous limiterons aux additions qui peuvent être nécessaires ou utiles, sur quelques points spéciaux.

Les travaux d'entretien à faire aux ouvrages construits sur les rivières canalisées peuvent être grandement facilités par l'effacement momentané des retenues, surtout si cette manœuvre coïncide avec des eaux très basses, avec l'étiage. Par contre, l'effacement des retenues entraîne nécessairement une interruption, un *chômage* de la navigation, et ce chômage est d'autant plus onéreux pour la batellerie que le mouvement sur les voies navigables devient plus intense, que l'industrie des transports par eau se perfectionne davantage et peut assurer à ses clients plus de célérité, surtout plus de régularité.

La *mise en chômage* d'une voie navigable est donc une mesure grave, qui ne doit être appliquée qu'à bon escient, avec beaucoup de discernement et de modération. Aussi, sauf les

cas de force majeure, ne peut-elle être opérée qu'en vertu d'une décision ministérielle, prise après une instruction qui donne toutes garanties aux intéressés. A propos des canaux, cette question sera examinée avec tous les développements qu'elle comporte; mais nous pouvons déjà insister sur ce point que les ingénieurs doivent s'efforcer, par tous les moyens possibles, de rendre les chômages moins fréquents et moins longs, doivent, par conséquent, s'appliquer à imaginer des procédés qui permettent d'exécuter les différents travaux d'entretien sans abaissement du niveau des retenues. Dans cet ordre d'idées, l'emploi du *scaphandre* et d'autres procédés analogues est particulièrement à recommander.

C'est ici le cas de dire qu'un scaphandrier exercé peut très bien maçonner sous l'eau, à la seule condition que l'eau dans laquelle il travaille soit sans courant, ce qui peut s'obtenir, en tant que de besoin, par l'interposition d'un simple écran en charpente. Le scaphandrier, au fond de l'eau, a auprès de lui un approvisionnement de moellons; le mortier, mortier de ciment à prise rapide bien entendu, est descendu dans un seau de métal, de manière qu'il ne puisse être délavé que sur une surface très restreinte; d'un mouvement rapide, le scaphandrier vide le seau à l'endroit voulu et enfonce vivement dans le mortier quelques-uns des moellons qu'il a sous la main, en remuant la masse aussi peu que possible; puis il passe à l'emploi d'un deuxième seau de mortier, etc...

On obtient ainsi un résultat très satisfaisant. Après exécution d'un travail de cette nature, sur l'Yonne, à Sens, nous avons fait détacher quelques blocs de maçonnerie pour en apprécier la dureté et nous avons constaté que les cassures s'étaient faites aussi bien à travers les moellons qu'à travers le mortier. On peut aussi, au lieu de moellons et de mortier, se servir de sacs de toile à peu près remplis de béton de ciment, qu'on descend au scaphandrier et que celui-ci entasse ou bourre à la demande du travail. Si on calcule le prix de revient de la maçonnerie, au mètre cube, ces procédés sont assurément

coûteux, mais ils dispensent de batardeaux et d'épuisements, et, en définitive, ils sont très économiques tant qu'il s'agit de petits cubes, pour réparation d'affouillements, reprises en sous-œuvre, etc...

205. Entretien des barrages. — Dans les différents systèmes de barrages employés à la canalisation des rivières, une partie importante des organes mobiles est le plus souvent noyée et a néanmoins besoin d'un contrôle incessant, de réparations fréquentes. Là encore le scaphandre est d'un emploi journalier.

On arrive aisément à changer une fermette dans un barrage Poirée ou une hausse dans un barrage Chanoine sans abaisser le niveau de la retenue du barrage. C'est là un point fort intéressant. Le procédé est le même dans l'un et l'autre cas, il suffira d'indiquer comment il s'applique à un barrage Poirée.

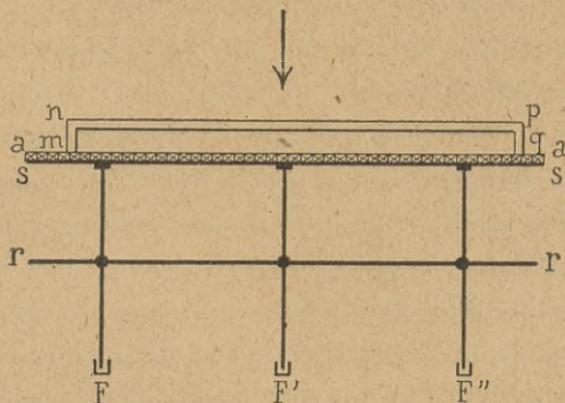


Fig. 86

Soient, en plan, F, F', F'', trois fermettes consécutives (fig. 86) ; rr et ss figurent les barres de réunion et d'appui, aa le rideau d'aiguilles que, pour plus de simplicité, nous supposons vertical. La fermette intermédiaire F' est avariée ; il faut la remplacer. A cet effet, on se sert d'un écran ou coffrage en charpente mnpg, dont la hauteur est égale à celle des aiguilles et dont la largeur est supérieure à celle de deux travées, et on

l'applique sur le rideau d'aiguilles de manière que ses joues prennent appui, l'une en deçà de la fermette F, l'autre au-delà de la fermette F'', tandis que par sa partie inférieure, il porte sur le radier. On peut alors retirer complètement les aiguilles dans les deux travées FF' et F'F'' sans que l'eau s'écoule par la baie ainsi ouverte ; on supprime les liaisons établies par les barres de réunion et d'appui entre les fermettes F et F'' d'une part et la fermette F' d'autre part ; celle-ci devient complètement indépendante et peut être enlevée, dès qu'on aura retiré le coin ou la clavette de la crapaudine d'aval. L'enlèvement se fait soit par l'amont, soit par l'aval, au moyen d'un bateau de manœuvre muni d'une chèvre et d'un treuil. La mise en place de la nouvelle fermette F' se fait au moyen du même bateau ; les liaisons avec les fermettes voisines F et F'' sont rétablies ; les aiguilles sont remises en place et l'écran peut alors être enlevé.

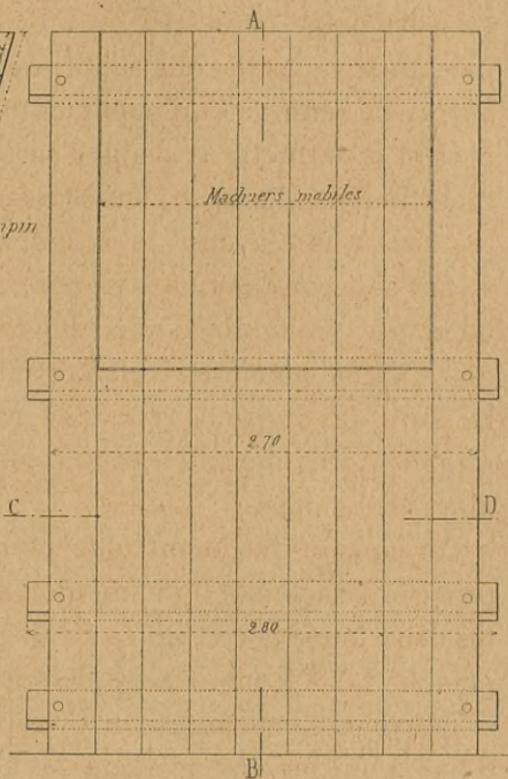
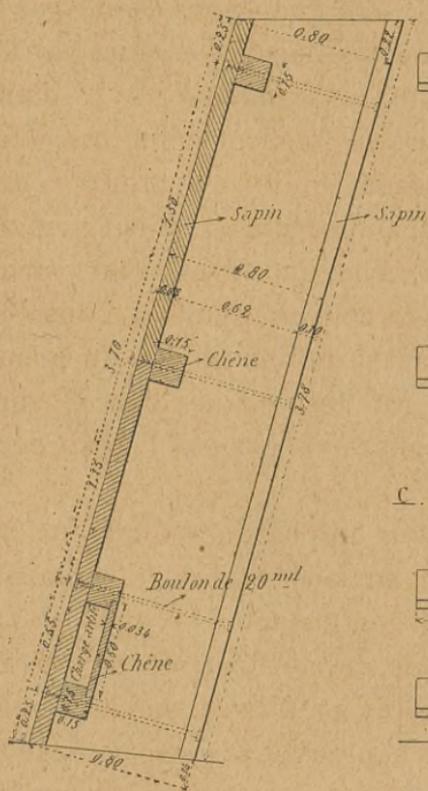
On conçoit aisément que pour un barrage Chanoine on procède exactement de même, en faisant porter l'écran sur les deux hausses contiguës à celle qu'il s'agit de remplacer. La planche LXXX montre les détails de construction de l'écran employé aux barrages du Coudray et d'Evry, sur la Haute-Seine, pour le remplacement des hausses de la passe navigable.

Dans les chapitres relatifs aux divers systèmes de barrages mobiles, lorsque nous avons donné un résumé de leurs avantages et de leurs inconvénients, nous avons envisagé l'éventualité d'une transformation nécessitée par le relèvement du niveau des retenues et les conditions dans lesquelles chaque système pouvait s'y prêter avec plus ou moins de facilité. Nous ne reviendrons pas sur ce sujet ; nous nous bornerons à faire connaître qu'il a été traité avec une certaine ampleur au VIII^e Congrès international de Navigation, tenu à Bruxelles, en 1898¹.

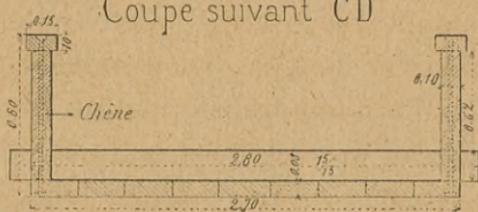
1. Le programme des travaux du Congrès comprenait dans la première Section (Rivières canalisées) : 1^{re} question, *Relèvement du niveau de la retenue d'un barrage existant* ; 2^e question, *Consolidation des radiers des barrages*.

Coupe suivant AB

Elevation



Coupe suivant CD



PI. LXXX. ÉCRAN EMPLOYÉ AUX BARRAGES DU COUDRAY ET D'EVRY, SUR LA HAUTE-SEINE

206. Entretien des écluses. — Les écluses en rivière accolées aux barrages sont submergées par les hautes eaux ; il s'y fait alors des dépôts plus ou moins importants de sable et de gravier, dépôts qui peuvent gêner la manœuvre des portes et former écueil pour les bateaux. Il est donc très important de se rendre compte de la formation éventuelle de ces dépôts et de les enlever dès qu'ils prennent une certaine importance. Les dragues à main sont généralement les seuls engins dont on puisse se servir à cet effet.

A une certaine époque, on avait pensé qu'on empêcherait, au moins dans une certaine mesure, la formation de ces dépôts en donnant au courant un libre passage à travers l'écluse, c'est-à-dire en ouvrant simultanément les deux portes au moment où la submersion de l'ouvrage allait se produire. Aujourd'hui, sur la Haute-Seine notamment, on a complètement renoncé à cette manière de faire ; on laisse les deux portes fermées, après avoir seulement eu soin d'enlever tous les organes qui pourraient avoir trop à souffrir du courant ou du choc des corps flottants : leviers de manœuvre des ventelles, garde-corps des passerelles de service, parties mobiles des appareils de manœuvre des portes, etc... Au point de vue des dépôts, il n'en va pas plus mal et on évite une manœuvre tout-à-fait fâcheuse à certains égards.

En effet, sur la longueur de plus de 200 mètres des écluses de la Haute-Seine, le fleuve, alors même que les barrages sont abattus, présente une chute notable ; une très grande résistance s'oppose donc à l'ouverture de la seconde porte ; pour vaincre cette résistance, on avait recours à la force d'un tonneur attelé aux vantaux récalcitrants. Il est inutile d'insister sur les inconvénients qu'une semblable pratique pouvait présenter au point de vue de la conservation des portes.

L'enlèvement et la pose d'un vantail de porte d'écluse peuvent se faire aisément en pleine eau, surtout quand il s'agit de grandes écluses comme celles de la Seine ou de l'Yonne, dont les têtes ont une largeur suffisantes (12 mètres ou 10 m. 50)

pour qu'un bateau de grandes dimensions, un bateau de commerce du type légal, par exemple, puisse s'y mouvoir à l'aise. Ce bateau porte: d'un côté, une chèvre ou même une charpente spéciale armée d'un palan de la force voulue; de l'autre, un amas de moellons qui peuvent être arrimés suivant les circonstances, de manière à former un contrepoids efficace (fig. 87). Le bateau ayant été amené dans la position indiquée

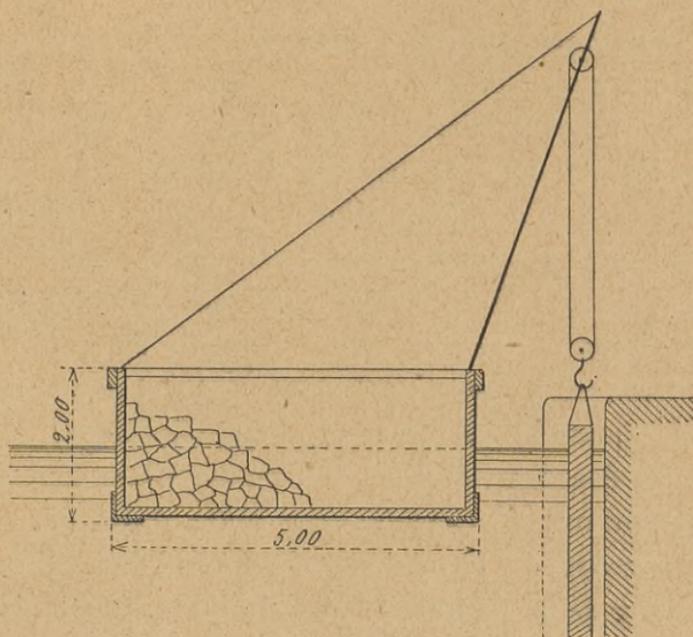


Fig. 87

à la figure et le collier préalablement ouvert, le vantail entouré de chaînes, de manière à éviter toute dislocation, est accroché au palan et soulevé de la quantité nécessaire pour que la crapaudine puisse se dégager du pivot. Il se trouve alors suspendu au flanc du bateau qui l'emmène pour le déposer sur la berge en un point convenable. Le vantail neuf est ensuite pris, amené et mis en place par une série de manœuvres inverses.

On conçoit que si, sur une rivière canalisée, tous les vantaux des portes d'écluse étaient de mêmes dimensions, il suffirait d'en avoir une paire de rechange pour parer à toutes les éventualités fâcheuses à prévoir. Sans arriver à cette unifor-

mité complète il paraît facile, et il serait très avantageux au point de vue de l'entretien, de n'admettre, sur une même voie navigable, qu'un très petit nombre de types de vantaux de dimensions différentes¹. De même, tous les organes accessoires, ventelles, crics de manœuvre, etc... devraient être interchangeables ; un approvisionnement très restreint de pièces de rechange serait alors suffisant.

207. Transformation des écluses. — Bien que sortant du cadre des travaux d'entretien proprement dit, les allongements et les approfondissements d'écluses ont tenu une telle place dans les travaux exécutés pour l'application de la loi du 5 août 1879 qu'il nous paraît utile d'en parler ici. Des opérations du même genre peuvent être encore ou redevenir nécessaires, et, d'ailleurs, les procédés appliqués dans les travaux dont nous allons parler sont susceptibles de l'être utilement dans d'autres. On trouvera sans doute naturel que nous prenions pour exemple les travaux d'approfondissement des écluses de la deuxième section de l'Yonne, entre Laroche et Montereau, qui ont été exécutés sous notre direction.

Le type normal de ces écluses comprend un sas à talus perreyés, long de 96 mètres et large de 10 m. 50 au plafond, avec têtes indépendantes présentant cette même largeur.

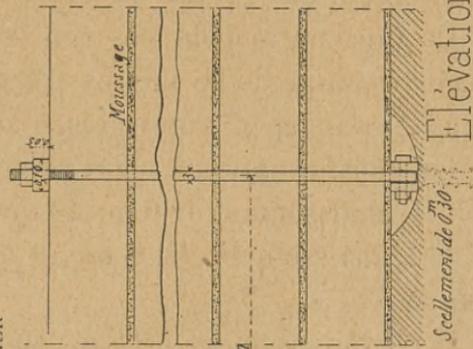
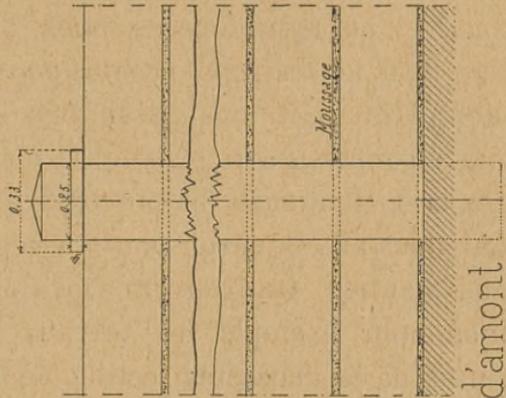
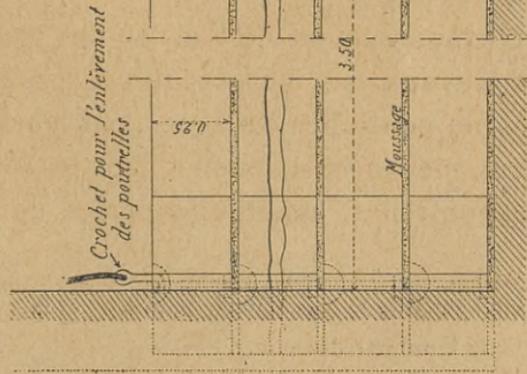
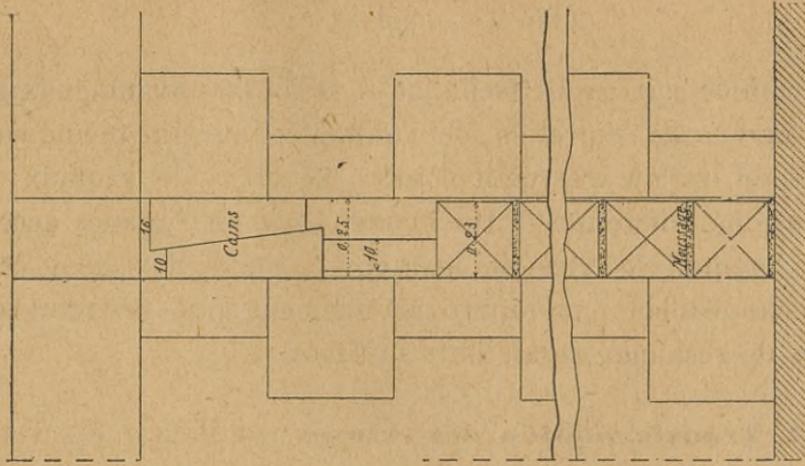
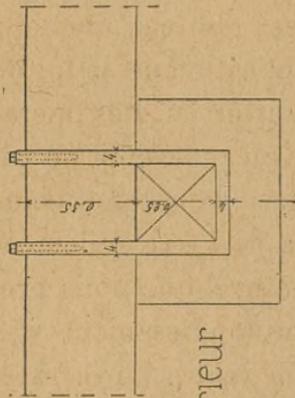
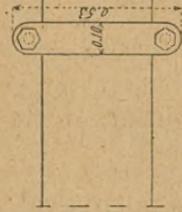
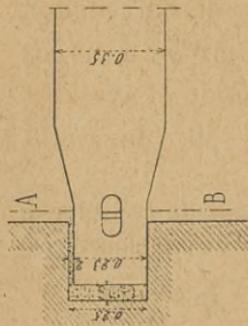
La transformation à opérer comportait :

- 1° L'abaissement de 0 m. 40 du plafond du sas ;
- 2° L'abaissement de 0 m. 40 du busc et des radiers de la tête aval ;
- 3° L'exhaussement de 0 m. 40 des vantaux de la porte aval.

Les travaux ont été exécutés à sec, à l'abri de batardeaux formés de poutrelles engagées, par leurs extrémités, dans les rainures ménagées à cet effet dans les têtes amont et aval.

Les poutrelles, ayant une portée de 10 m. 50, devaient,

1. Autrement, il devient impossible d'avoir des vantaux de rechange et la crainte d'un accident peut inciter les ingénieurs à faire remplacer certaines portes prématurément.



Scellement de 0.10

malgré leur largeur de 0 m. 35, être soutenues, en leur milieu, par une pièce verticale engagée du pied dans une cavité ménagée à cet effet dans le radier (pl. LXXXI) ¹.

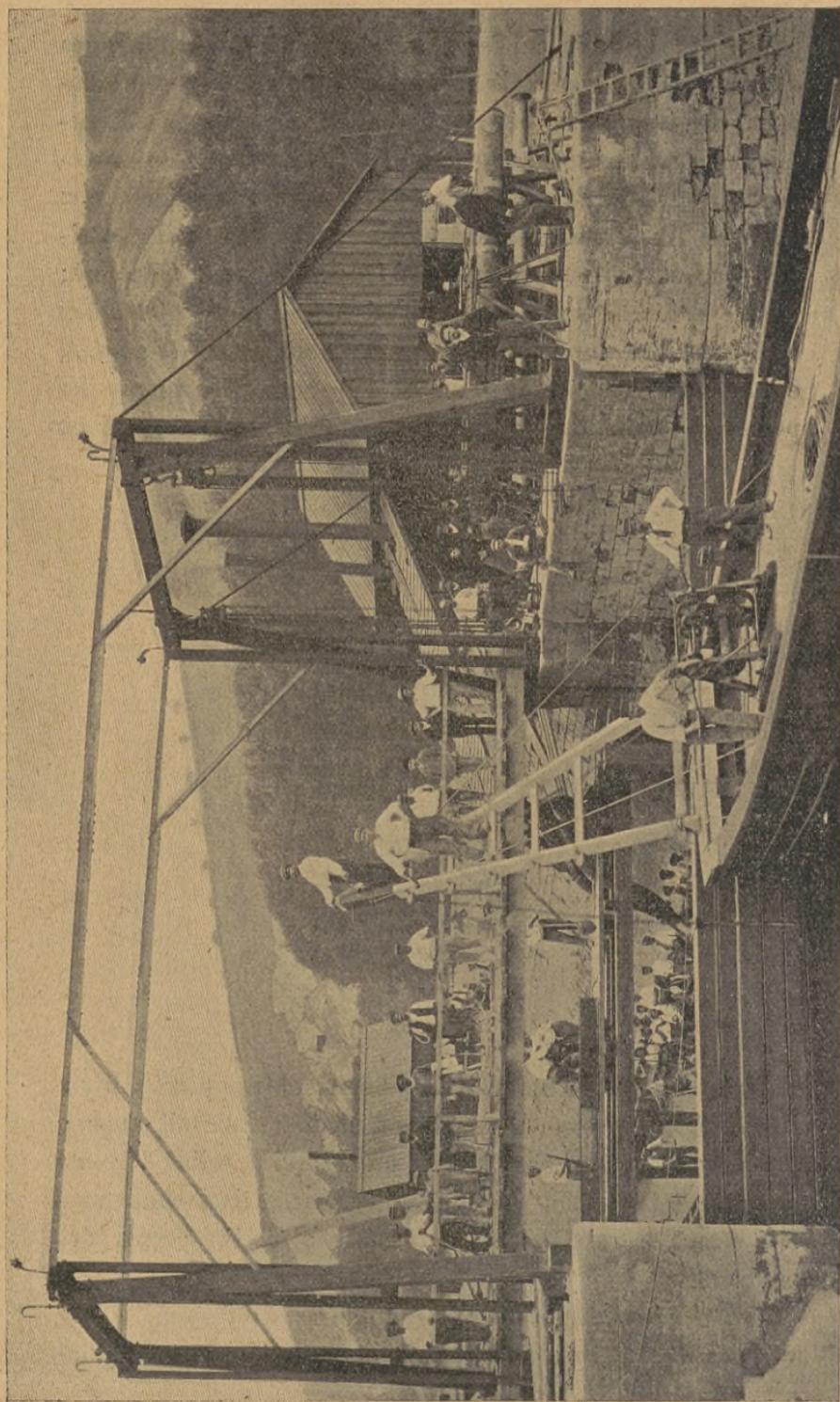
Pour rendre le rideau de poutrelles étanche, on couvrait la face supérieure de chacune d'elles d'un matelas de mousse, de 0 m. 05 d'épaisseur, renfermé dans une toile d'emballage clouée sur les faces latérales. Toutefois, la première poutrelle était moussée également sur sa face inférieure pour le joint du radier et la dernière restait nue. Les vides ménagés dans les rainures pour le jeu des poutrelles étaient en dernier lieu soigneusement bourrés avec de la mousse.

On procédait à un serrage énergique des poutrelles les unes contre les autres. A cet effet, la dernière était chargée d'un poids de 1.000 kilogrammes environ ; on serrait alors les écrous des boulons d'ancrage placés exactement au tiers et aux deux tiers de la longueur du batardeau ; enfin on achevait le serrage au moyen de crics placés dans les rainures, qu'on manœuvrait simultanément en les faisant buter contre des coins fortement pressés. On avait soin de disposer ces derniers en contre-bas du couronnement afin de ne pas s'exposer à le soulever ou à le briser. Le travail des crics achevé, on les remplaçait par des chandelles en bois de chêne.

On obtenait ainsi des batardeaux parfaitement étanches. La planche LXXXI donne les dimensions et les dispositions de détail des différentes pièces ; la vue de la tête aval de l'écluse de Saint-Bond pendant les travaux de transformation (pl. LXXXII), donne une idée très exacte de l'ensemble.

Les perrés des sas étaient soutenus par des vannages de pieux et palplanches, entre lesquels il n'y avait de radier maçonné que sur une certaine longueur à l'aval de la tête amont. Antérieurement à l'ouverture du chômage, le sol avait été dragué à la machine dans toute la partie dépourvue de

1. La planche ne comprend, comme plan et élévation, qu'un peu plus de la moitié de la longueur des poutrelles.



Pl. LXXXII. — VUE DE LA TÊTE AVAL DE L'ÉCLUSE DE SAINT-BOND PENDANT LES TRAVAUX DE TRANSFORMATION

radier et, au droit de l'emplacement assigné aux pompes d'épuisement, les puisards avaient été, sinon creusés à profondeur, du moins amorcés de manière à permettre l'assèchement du sas immédiatement après l'achèvement des batardeaux, sans aucune perte de temps. Les diverses opérations exécutées dans le sas asséché, en les menant autant que possible de front, consistaient en ceci : démolir le radier maçonné ; mettre la fouille à profondeur et la régler ; recéper les pieux et palplanches soutenant les perrés ; établir un radier général en béton de ciment de 0 m. 50 d'épaisseur ; reprendre les perrés en sous-cœuvre avec un talus raidi (fig. 88) ; procéder à

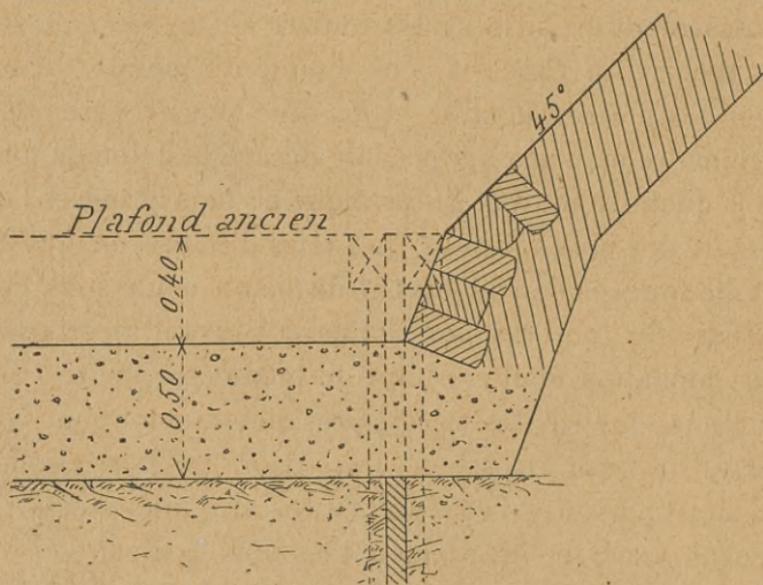


Fig. 88

une restauration complète des parements de ces perrés. Il y a lieu de noter que le radier général en béton n'avait aucune prétention à l'étanchéité ; il était, au contraire, criblé d'évents pour empêcher l'effet des sous-pressions ; mais il contreventait d'une façon très efficace, par le pied, les perrés des bajoyers.

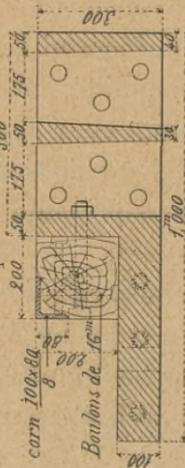
A la tête aval, la première opération consistait à enlever les vantaux de la porte ; la photographie reproduite dans la plan-

che LXXXII montre très bien comment on procédait. Au-dessus des enclaves on avait établi, avant l'ouverture du chômage, des portiques munis de palans de la force voulue. Aussitôt la navigation interrompue, les vantaux étaient enchaînés, soulevés au-dessus des bajoyers et déposés sur des tréteaux où ils se trouvaient très commodément installés en vue de leur allongement. Pour chaque vantail, le travail comprenait le changement des poteaux tourillon et busqué et l'addition, au-dessous de l'entretoise inférieure, d'une autre entretoise de 0 m. 40 de hauteur. Pour la remise en place des vantaux exhaussés, on se servait des mêmes portiques en faisant les manœuvres en sens inverse.

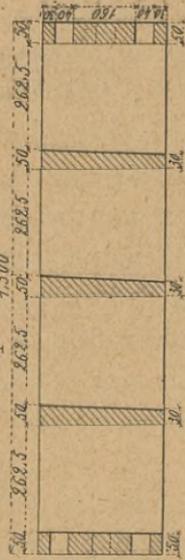
L'abaissement du busc et des radiers de la tête aval semble, en théorie, la chose la plus simple du monde ; il suffit d'enlever les pierres de taille et les moellons de parement et de les remettre en place après avoir décapé le béton de fondation de la quantité voulue. En pratique et dans l'espèce, l'opération était des plus délicates. Les têtes d'écluse en question avaient été fondées sur un massif de béton coulé sous l'eau. D'une épaisseur toujours assez faible et souvent incertaine, le béton de fondation était en outre de médiocre qualité. Si on y avait creusé les cavités nécessaires, notamment pour loger les pierres du busc abaissé de 0 m. 40, il est hors de doute qu'il n'aurait plus été en état de résister aux sous-pressions et qu'on aurait provoqué les accidents les plus graves.

Pour parer à ce danger, la plate-bande et le busc en pierres de taille ont été remplacés par une plate-bande et un busc en fonte évidée, formés de tronçons très maniables boulonnés les uns aux autres (pl. LXXXIII, page 474). Il a suffi d'engager ces pièces métalliques de 0 m. 10 dans le béton de fondation ; les scellements ont été faits au mortier de ciment de Portland ; les évidements de la fonte ont été bourrés de maçonnerie de même espèce ; on a obtenu avec les maçonneries anciennes ; sans les affaiblir, une liaison intime et de la plus grande solidité. Pour les radiers, on s'est contenté de décapier le béton

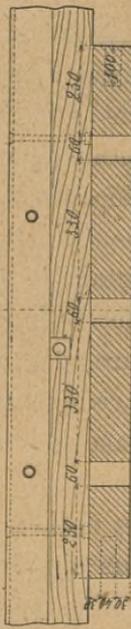
Coupe suiv' KL



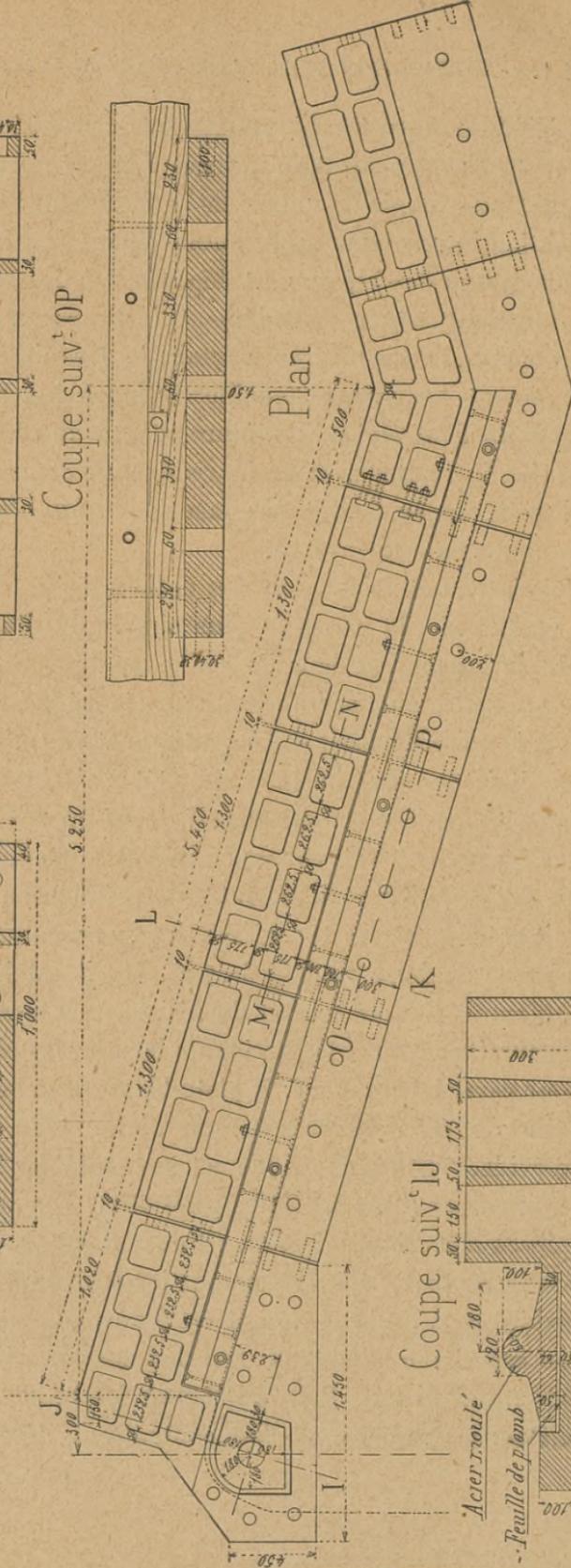
Coupe suiv' MN



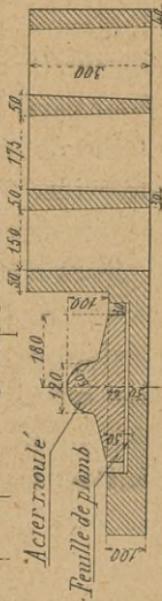
Coupe suiv' OP



Plan



Coupe suiv' IJ



Pl. LXXXIII. BUSC METALLIQUE DES ÉCLUSES APPROFONDIES DE LYONNE

de quelques centimètres au-dessous du niveau voulu et de le recouvrir d'une chape de mortier de ciment de Portland. La réussite a été complète.

Reste à expliquer comment la partie du radier sous le batardeau à poutrelles et en aval de ce batardeau était elle-même abaissée de 0 m. 40. Pour la portion en aval, l'opération¹ avait été faite au scaphandre, avant l'interruption de la navigation, si bien que vers les derniers jours du chômage le radier présentait la configuration indiquée par un liséré en hachures dans la figure 89. On établissait alors sur la partie

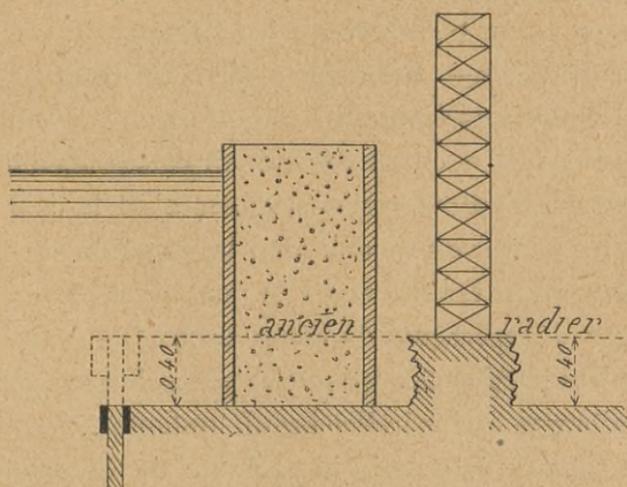


Fig. 89

préalablement abaissée, en limitant sa hauteur au strict nécessaire, un petit batardeau en béton de ciment coulé dans un coffre ; il devenait ainsi possible de retirer les poutrelles et de déraser la portion du radier en dessous ; l'enlèvement du batardeau en ciment, qui se faisait en dernier lieu, ne présentait aucune difficulté.

Enfin les puisards, qui fonctionnaient jusqu'au dernier

1. Opération comprenant : démolition de la maçonnerie sur quarante et quelques centimètres de profondeur ; recépage des pieux et palplanches sur 0 m. 40 de hauteur ; substitution de mollebandes en fer aux moises en charpente pour relier par la tête les pieux et moises recépés ; arasement du parement des maçonneries démolies.

jour du chômage, étaient remplis de maçonnerie par un sca-phandrier, après le rétablissement de la navigation.

Dans les conditions indiquées ci-dessus, on est arrivé à réaliser la transformation des écluses de l'Yonne à la faveur de chômages de 21 jours seulement. *Tous les travaux ont été exécutés en régie*, et nous croyons ce mode d'exécution absolument justifié dans l'espèce, attendu que si on fait intervenir un entrepreneur, son intérêt est constamment en opposition avec celui de l'administration.

L'entrepreneur, qui veut et qui *doit* gagner de l'argent, est toujours préoccupé du rendement de ses ouvriers ; or, il arrive souvent que, pour terminer au jour fixé pour la fin du chômage, on est obligé de concentrer sur certains points du chantier des ouvriers en nombre tel qu'ils ne puissent pas avoir tout leur effet utile ; comment obtenir ce sacrifice d'un entrepreneur ? Dans d'autres circonstances, c'est la prudence qui oblige à faire passer au second plan la question du rendement des ouvriers. Dans les travaux tels que les reprises en sous-œuvre ou les décapements de béton de fondation, il faut procéder par petites parties et avec une extrême circonspection, arrêter le travail au moindre indice inquiétant, etc... ; et, en somme, le résultat est une économie importante de temps et d'argent, parce qu'en procédant ainsi on évite les accidents et on diminue les quantités d'ouvrages à exécuter. L'entrepreneur, lui, n'a intérêt ni à éviter les uns ni à diminuer les autres ; au contraire.

Il va de soi que pour obtenir de l'exécution en régie tous les avantages qu'elle peut procurer dans l'espèce, il est indispensable d'avoir un personnel de premier choix, ce qui était le cas sur l'Yonne ¹.

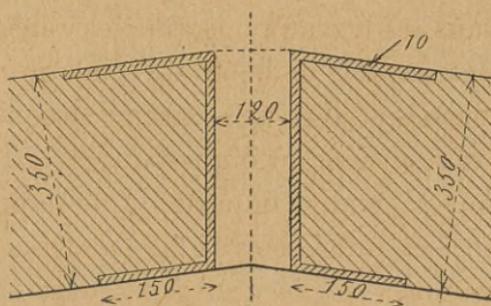
208. Matériel et traction. — En ce qui concerne le matériel et la traction, les rivières canalisées, quand elles com-

1. Nous nous en voudrions de ne pas nommer ici nos excellents collaborateurs, M. l'ingénieur Bonneau (Romain) et MM. les subdivisionnaires Crus-sard, Lambert et Mathieu (Victor).

portent de grandes écluses susceptibles de recevoir un convoi entier, peuvent être assimilées aux rivières à courant libre, sous réserve, bien entendu, des avantages qu'elles présentent, au point de vue de la traction des bateaux, par suite de la diminution du courant et de l'augmentation de la surface de la section mouillée. Si elles sont pourvues d'écluses susceptibles de ne recevoir qu'un seul bateau, elles se rapprochent au contraire singulièrement des canaux.

Dans le premier cas, cependant, les rivières canalisées se différencient encore des autres sur un point important : la constance et l'importance du mouillage, qui entraîne l'adoption à peu près exclusive des moteurs à hélice.

Un problème intéressant s'est posé quand on a voulu faire fonctionner le touage sur les rivières canalisées. Comment assurer le passage et les mouvements de la chaîne à travers les écluses ? La solution universellement adoptée aujourd'hui



Busc

Fig. 90

consiste à ménager, entre les deux vantaux, à la partie inférieure des poteaux busqués, une lumière de largeur et de hauteur suffisantes. La figure 90 reproduit, en plan, les dispositions de la lumière ménagée à la partie inférieure des poteaux busqués d'une porte en bois de la 2^e section de l'Yonne. La largeur est de 0 m. 12 ; la hauteur totale de 0 m. 85, soit 0 m. 70 au-dessus du busc. Sur toute la hauteur de la lumière les poteaux busqués sont chaussés de sabots en

tôle de 10 millimètres d'épaisseur, destinés à empêcher le bois d'être mangé par le frottement de la chaîne. En même temps, chaque sabot consolide l'assemblage de l'entretoise inférieure avec le poteau busqué et fournit un point d'attache aux extrémités des écharpes qui consolident le vantail. Une ouverture de cette dimension laisse écouler une quantité d'eau assez importante, mais, dans l'espèce, l'alimentation est suffisamment abondante pour qu'il ne puisse en résulter d'autre inconvénient qu'une légère augmentation du temps nécessaire pour remplir ou vider le sas.

Le bon fonctionnement du système suppose que la chaîne se trouve toujours exactement dans l'axe de l'écluse, au moment de la fermeture de la porte. Quand elle s'en éloigne, il faut l'y ramener. Cela peut se faire au moyen d'une petite chaîne, qui passe par dessous et va d'un bajoyer à l'autre, à travers la chambre de la porte. Fixée à l'un des bajoyers par une extrémité, cette petite chaîne s'enroule par l'autre sur un treuil spécial installé sur l'autre bajoyer. Il suffit de virer au treuil jusqu'à ce que la petite chaîne soit tendue et soulève la chaîne de touage. Par raison de symétrie, celle-ci vient se placer exactement au milieu de l'espace compris entre les deux bajoyers, soit dans l'axe de la tête de l'écluse.

209. Manœuvre des ouvrages de navigation. — Sur les rivières canalisées, la manœuvre des ouvrages de navigation prend une grande importance. Les manœuvres de barrages surtout présentent un intérêt capital; c'est d'elles en effet que dépend le maintien du niveau des retenues et, par conséquent, le mouillage. Nous avons dit plus haut en quoi consistent ces manœuvres et comment elles s'exécutent; reste à voir dans quel esprit elles doivent être conduites.

Nous avons expliqué que les manœuvres avaient généralement pour effet d'accentuer les variations de régime qui les rendaient nécessaires, qu'elles pouvaient quelquefois occasionner de véritables perturbations dans ce régime et qu'il était

sage de les réduire au strict nécessaire. Nous avons même insisté sur les avantages que pouvait présenter, à ce point de vue, l'existence dans un barrage d'une passe au moins formant déversoir de superficie. Si en même temps, dans le bief commandé par ce barrage, les berges présentent une revanche suffisante, on peut laisser, au moins dans une certaine mesure, la lame déversante s'accroître à la demande du débit et on arrive ainsi à écouler nombre de petites crues sans faire aucune manœuvre.

Mais il s'en faut que les choses puissent se passer toujours aussi simplement ; le plus souvent il importe que la retenue, immédiatement à l'amont du barrage, ne dépasse pas le niveau légal et, à cet effet, des manœuvres fréquentes sont indispensables ; quelquefois même la retenue doit être maintenue au-dessous du niveau légal.

Nous avons dit que lors de la rédaction des projets, les retenues étaient supposées horizontales, et que les buses d'aval des écluses étaient placés en conséquence. En fait, le mouillage sur le busc d'aval de chaque écluse s'augmente de la pente superficielle du bief inférieur, pente qui peut devenir importante quand le bief est long et surtout quand le débit augmente. Ce supplément de mouillage n'est pas indispensable pour la navigation et par contre le surélévément du plan d'eau peut avoir de sérieux inconvénients : porter préjudice aux propriétés riveraines, réduire outre mesure la hauteur libre sous les ponts, etc... Le barragiste est alors quelquefois conduit à se guider, non pas sur le niveau de la retenue immédiatement à l'amont du barrage, mais sur ce même niveau au droit du point critique.

C'est, notamment, ce qui se passe pour le barrage de Suresnes et le bief de Paris qu'il commande. Ce bief, qui s'étend de Suresnes à Port-à-l'Anglais, est long de 25 kilomètres en nombre rond. Par suite de cette longueur, par l'effet des ponts dont le nombre ne s'élève pas à moins de 31 sur le bras principal seulement, la pente superficielle, toujours impor-

tante, s'élève rapidement avec le débit. Or, il ne serait pas sans inconvénients que le niveau des eaux fût soumis, au cœur même de Paris, à des fluctuations trop prononcées. En conséquence, c'est sur la cote au Pont-Royal que les manœuvres du barrage de Suresnes sont réglées. Ainsi que nous l'avons mentionné ailleurs, un fluviographe enregistreur à distance permet au barragiste de Suresnes de suivre incessamment les mouvements du plan d'eau à l'échelle du Pont-Royal ; les manœuvres du barrage sont conduites en conséquence.

Les manœuvres des écluses sont loin d'être aussi délicates ; elles ne demandent qu'à être faites avec célérité, prudemment cependant, et surtout avec opportunité. A ce point de vue les communications télégraphiques ou téléphoniques, qui existent le long de toutes les voies navigables un peu importantes, rendent les plus grands services. Averti en temps utile par ses collègues d'amont et d'aval, l'éclusier n'est pas surpris par l'arrivée des bateaux ; il prend, autant que possible, les mesures nécessaires pour que l'écluse soit *prête* à leur donner passage sans aucun retard.

L'écluse est cependant, quoi qu'on fasse, un point d'arrêt obligé. C'est à l'écluse que le marinier prend contact avec le reste du monde. C'est là qu'il reçoit sa correspondance postale ou télégraphique, c'est là qu'il lui serait commode de se ravitailler sans déplacement, c'est là qu'il peut être tenté de chercher des distractions. Il en résulte entre éclusiers et bateliers des relations très suivies, très complexes aussi, qui ne sauraient prendre un caractère commercial prononcé sans donner lieu à de graves abus, dont la marchandise transportée est exposée à souffrir. Ces relations soulèvent des questions d'administration fort délicates, sur lesquelles nous ne saurions nous étendre davantage dans un traité technique, mais que nous devons signaler à la vigilance des ingénieurs.

210. Ports. — En ce qui concerne les ports, nous n'avons rien à ajouter à ce que nous avons dit sur ce sujet dans les *Rivières à courant libre*.

§ 2

RÉSULTATS FINANCIERS

211. Dépenses de premier établissement. — Le dernier volume de renseignements statistiques, publié par le ministère des Travaux publics sur les *dépenses de premier établissement et d'entretien concernant la navigation*, contient, notamment, le relevé de toutes les dépenses faites pour l'exécution de *travaux extraordinaires* sur les rivières depuis 1814 jusqu'au 31 décembre 1900. Si, pour les rivières canalisées que nous allons citer à titre d'exemple, nous prenons le total résultant de ce relevé comme montant des dépenses de premier établissement, nous sommes assuré d'avoir un chiffre qui dépasse de beaucoup le prix de revient réel de la canalisation, c'est-à-dire ce que coûterait la réalisation, de premier jet, de la canalisation telle qu'elle existe aujourd'hui. Le relevé en question comprend en effet nombre de dépenses antérieures ou étrangères à la dernière transformation de ces rivières. Les chiffres résultant de cette manière de compter doivent donc être considérés comme constituant des maxima.

Sur la **Marne**, entre Epernay et Charenton, les premières dépenses relevées ont été autorisées par les lois des 7 avril-14 août 1822 et ont trait à l'achèvement de la dérivation connue sous le nom de *Canal de Saint-Maur*; les dernières se rapportent aux travaux autorisés par le décret du 6 août 1883 en vue de porter le mouillage à 2 mètres au minimum.

Le total des dépenses au 31 décembre 1900 s'élevait à 26.174.280 francs. Comme, à cette date, les travaux autorisés par le décret du 6 août 1883 étaient achevés, c'est ce chiffre qu'il convient de rapprocher de la longueur totale, soit 183 kilomètres; il fait ressortir une dépense kilométrique de 143.000 francs, en nombre rond.

La voie navigable, entre Epernay et Charenton, est accessible en tout temps aux bateaux tirant 4 m. 80; elle comporte 19 écluses simples, de 45 mètres de longueur utile sur 7 m. 80 de largeur, ne pouvant, par conséquent, recevoir qu'un bateau.

Sur la **Seine**, entre Montereau et Paris (Haute-Seine; Seine, 1^{re} section, 2^e division), les premières dépenses relevées ont été exécutées en vertu d'une loi du 19 juillet 1837; elles avaient trait à l'amélioration des traverses de Melun et de Corbeil, à la réparation des chemins de halage, etc... Les dernières ont été autorisées par la loi du 13 juin 1878¹, ainsi que par les décrets du 28 mars 1887² et du 28 juin 1897³.

Le total des dépenses faites au 31 décembre 1900 s'élevait à 24.003.080 fr.

Mais à cette époque, les dépenses restant encore à faire pour achever les travaux autorisés par les loi et décrets précités étaient évaluées à. 731.359 fr.

C'est le total, soit 24.784.439 fr.

qui doit être rapproché de la longueur totale, égale à 98 kilomètres; il fait ressortir une dépense kilométrique de 253.000 francs en nombre rond.

La voie navigable, sur toute sa longueur, est accessible en tout temps aux bateaux tirant 4 m. 80; les écluses ont au minimum 172 mètres de longueur utile et 12 mètres de largeur; elles sont, par conséquent, susceptibles de recevoir des convois entiers. Dans sa partie inférieure, entre Ablon (aval du barrage) et Paris, sur 15 kilomètres de longueur, elle peut déjà donner passage aux bateaux tirant 3 mètres. La seule écluse qu'on rencontre sur cette partie, celle de Port-à-l'Anglais a été doublée; les sas ont 180 mètres de longueur utile sur 16 mètres de largeur.

1. Elévation du mouillage de 4 m. 60 à 2 mètres au minimum, entre Montereau et Paris.

2. Etablissement d'une seconde écluse à Port-à-l'Anglais.

3. Exécution d'un port à Ivry, avec raccordement au chemin de fer d'Orléans.

Enfin, sur l'**Yonne**, entre Auxerre et Montereau (Yonne, 1^{re} et 2^e sections), les premières dépenses relevées remontent aussi à la loi du 19 juillet 1837. Elles comprenaient l'exécution d'un barrage à Epineau, la construction de quais de ports à Joigny, Sens et Pont-sur-Yonne, ainsi que l'amélioration du chemin de halage et des rives. Les dernières ont été faites en vertu de la loi du 13 juin 1878, qui a autorisé les travaux nécessaires pour porter le mouillage à 2 mètres.

Le total des dépenses faites au 31 décembre 1900 s'élevait à 26.494.712 fr.

Mais à cette époque, les dépenses restant à faire pour épuiser les ressources créées par la loi précitée s'élevaient encore à 1.450.905 fr.

C'est le total, soit 27.945.617 fr.

qui doit être rapproché de la longueur totale, égale à 108 kilomètres ; il fait ressortir une dépense kilométrique de 259.000 francs, en nombre rond.

Quand les travaux seront entièrement terminés, la voie navigable sera, sur tout son parcours, accessible aux bateaux tirant 4 m. 80. Les écluses, au nombre de 26, ont généralement 96 mètres de longueur utile sur 10 m. 50 de largeur et sont, par conséquent, susceptibles de recevoir des convois entiers.

Les exemples ci-dessus nous paraissent suffisants pour donner une idée de ce que peut coûter la canalisation des rivières, suivant la constitution de ces dernières et les conditions de navigabilité qu'on entend obtenir.

212. Frais d'entretien et de manœuvre des ouvrages de navigation. — Le tableau ci-après contient tous les éléments nécessaires pour faire ressortir l'importance, en 1900, des frais d'entretien et de manœuvre des ouvrages de navigation sur chacune des rivières canalisées dont il a été question dans l'article précédent.

Le total des frais d'entretien et d'exploitation (art. 1) comprend tous les frais de personnel et, en ce qui concerne les

	MARNE d'Epemay à Charenton	SEINE de Montereau à Paris	YONNE d'Auxerre à Montereau
1 Total des frais d'entretien et d'exploitation.....	310.850 fr. 31	360.183 fr. 77	205.374 fr. 99
2 Longueur de la voie navigable.....	183 kil.	98 kil.	108 kil.
3 Montant des frais par mètre courant.....	1 fr. 70	3 fr. 68	1 fr. 55
4 Produit du domaine.....	60 265 fr. 93	44.059 fr. 74	23.578 fr. 55
5 Montant (net) des frais d'entretien et d'exploitation.....	250.584 fr. 38	316.124 fr. 03	181.796 fr. 44
6 Tonnage kilométrique.....	69.654.395 t. k.	223.267.296 t. k.	36.075.747 t. k.
7 Tonnage ramené au parcours entier.....	380.625 t.	2.278.238 t.	334.035 t.
8 Montant (net) des frais d'entretien et d'exploitation par tonne kilométrique.....	0 fr. 0036	0 fr. 0014	0 fr. 0050

travaux, toutes les dépenses pour grosses réparations, quels que soient le chapitre et la catégorie sur lesquels elles ont été imputées, en tant que ces réparations n'ont eu d'autre objet que de conserver les ouvrages ou de maintenir la voie navigable dans ses conditions actuelles d'exploitation.

Les voies navigables donnent à l'Etat certains revenus dont les principaux sont : la location du droit de pêche ; les redevances pour occupations temporaires, usines et prises d'eau ; la vente des osiers, herbes, joncs et roseaux accrus dans le lit et sur les bords ; la vente des produits des plantations, etc... Le produit du domaine (art. 4) est la somme de ces revenus.

L'article 5 est la différence des articles 4 et 4.

On voit avec quelle rapidité diminue le montant des frais d'entretien et d'exploitation par tonne kilométrique, lorsque la fréquentation augmente.

213. Prix de fret. — Il est pour ainsi dire impossible de déterminer exactement les prix de fret afférents spécialement à l'une quelconque des voies navigables canalisées que nous avons considérées dans les articles précédents. Le trafic intérieur y est limité et, d'autre part, les prix de transport correspondants sont nécessairement très élevés à raison du peu d'étendue du parcours. Si, comme il convient, nous considérons des parcours d'une certaine importance, de quelques centaines de kilomètres, par exemple, ils s'étendent non seulement sur les rivières canalisées en question, non seulement sur des rivières canalisées, en général, mais aussi sur des canaux, notre réseau national étant essentiellement mixte. Les prix du transport pour ces parcours mixtes sont donc intermédiaires entre ceux qui pourraient résulter des conditions de navigabilité respectives des rivières canalisées et des canaux. Il ressort d'un très grand nombre d'espèces que ce prix oscille autour de 0 fr. 015 (15 millimes) par tonne kilométrique ; il peut descendre, exceptionnellement, à 8 millimes.

ANNEXES

A.

NOTE SUR LA CANALISATION DES RIVIÈRES A FOND MOBILE AU MOYEN DE BARRAGES DE SOUTÈNEMENT DU LIT

Par M. LECHALAS, inspecteur général des Ponts et Chaussées

Est-il possible de prévoir dès aujourd'hui, pour l'avenir, de nouveaux procédés à appliquer aux rivières à fond mobile, sans parler des améliorations de détail que l'on peut toujours espérer ?

Nous ne voyons que le système des barrages de soutènement du lit¹ (on pourrait les appeler *barrages sous-marins*) qui puisse donner un espoir actuellement soutenable d'un progrès important. Et encore doit-on remarquer qu'il faut pour cela la réunion de certaines conditions.

La première, c'est la modération relative de la pente, car on voit de suite que si la pente générale d'une rivière est énorme, les barrages de soutènement du lit devraient être très rapprochés. Cette remarque s'applique, par exemple, au Rhône, où le seul barrage méritant les dépenses qu'il occasionnerait pourrait bien être celui qu'on établirait immédiatement au-dessus de Lyon², dans le cas où, malgré la présence des ponts et des murs de quai, il serait possible d'horizonta-

1. Voir les *Rivières à courant libre* de M. B. de Mas (1899) page 329, et l'*Hydraulique fluviale* de M. Lechalas, volume par lequel s'est ouverte la série composant l'Encyclopédie des Travaux publics (1884).

2. Abstraction faite de celui qu'on aurait dû établir en aval du confluent de la Saône, de préférence au barrage de la Mulatière. Avec un barrage éclusé et pourvu de hausses dans le Rhône, le résultat cherché pour l'affluent eût été convenablement atteint, et en même temps on eût créé le port du Rhône en noyant la traverse de Lyon, sans avoir à toucher aux ponts et aux murs de quai.

liser le lit à bonne profondeur dans la traverse de la ville, au moyen de dragages, etc... On arriverait alors à créer un beau *port du Rhône à Lyon*, à la seule condition de faire au voisinage du barrage des dragages annuels qui ne seraient peut-être pas bien importants. Il faut remarquer en effet que, partout où l'on a pu s'en rendre compte, les *débites annuels de sable ou de gravier* sont loin d'atteindre les chiffres qui hantaient les imaginations, et nous citerons à cet égard quelques exemples remarquables.

La Loire à Nantes. On était convaincu qu'un grand nombre de millions de mètres cubes de sable passaient chaque année sous les ponts de Nantes. M. Comoy a montré que le volume moyen devait être réduit à 400.000 mètres, et, en effet, on entretient maintenant la basse Loire, à la profondeur obtenue par des dragages de premier établissement entre Nantes et le Canal maritime, au moyen de l'enlèvement annuel de 500.000 mètres, y compris un volume plus ou moins consolidé de vases amenées par le flot.

Les barres de Dunkerque, Calais et Boulogne. On a fort discuté avant d'adopter en grand le procédé du dragage par les appareils dits *suceurs*, toujours pour le même motif (l'énorme volume supposé du débit solide); mais on s'est décidé à agir et le succès a été complet. Le volume à draguer est atténué par celui du débit de sable parallèle à la côte, débit persistant plus ou moins malgré les déclivités résultant, de part et d'autre, de la fouille sur les barres.

Les graviers de la Garonne. Il faut rappeler aussi les constatations de M. Baumgarten au sujet des mouvements des graviers dans la Garonne, mouvements qui consistent plutôt en déplacements transversaux qu'en déplacements longitudinaux (*Annales*, 1848) et correspondent à un très faible *débit annuel de gravier*.

Ce fait est particulièrement à citer lorsqu'on se préoccupe du Rhône. L'utilité d'un port profond à Lyon, comprenant toute la traverse de la ville, serait assurément grande; les bateaux pour-

raient s'y charger ou s'y décharger en sécurité, hors les cas de grandes crues (il y aurait une question de garages à étudier pour ces cas), et l'on verrait des barques accéder librement d'amont ou d'aval, ou de la Saône à charge d'écluser à la Muliatière, jusqu'au cœur de la ville. Le mouvement aurait de l'importance pour peu que le niveau s'élevât au-dessus de l'étiage, ce qui a lieu régulièrement au moment de la fonte des neiges.

La seconde condition à remplir pour justifier l'établissement de barrages de soutènement du lit, limitant à des sections plus ou moins longues la cumulation des abaissements du lit et des diminutions de la pente superficielle (conséquences forcées d'un bon tracé des rives, travaux de M. Fargue dans la Garonne), la seconde condition serait d'ordre purement financier. Il s'agirait de savoir si les travaux ainsi faits ne seraient pas trop chers pour les résultats à en attendre; par exemple s'ils procuraient une bonne canalisation en lit de rivière entre Tours et Saumur, ou même Blois et Saumur.

Théoriquement, cette question ne diffère pas de celle du choix entre les canaux latéraux et les travaux en rivière pour les cours d'eau à pente moyenne et petit débit solide; c'est le même problème transporté de la rivière à fond peu mobile à la rivière à fond de sable. Mais une question de plus ou de moins peut suffire pour changer du tout au tout la solution à adopter.

Lorsque nous avons commencé nos études sur les rivières à fond de sable (*Annales* de 1871), nous ignorions où cette étude nous conduirait; c'est un peu plus tard que nous est apparue nettement la solution consistant à diviser la Loire en *biefs formant à la longue un escalier de fond*, tandis que les biefs ordinaires des rivières canalisées forment *dès l'origine* des escaliers saillants sur le fond primitif. Comprenant qu'une idée aussi nouvelle avait besoin d'être étayée par les études de nos devanciers, nous avons fouillé les archives de l'École

des Ponts et Chaussées et y avons trouvé les brochures quelque peu oubliées de M. Dausse. « Le lecteur n'étant peut-être pas « familiarisé avec l'ordre d'idées dans lequel nous venons de « nous placer, il peut être utile de faire quelques citations « pour montrer que nous n'avons rien inventé : ces idées sont « dans le domaine public, et des faits positifs en démontrent « l'exactitude¹.

« *Les affluents encaissés du Pô* (d'après M. Dausse).
 « Qu'on remonte, en partant du Pô, la Dora-Susina, la Stura
 « et les autres affluents, on verra toutes ces rivières s'encais-
 « ser de plus en plus dans les anciens cônes de déjection qui
 « forment le fond de la vallée du fleuve... Toutefois, l'encais-
 « sement de la Dora-Susina, de la Stura, etc., a une cause
 « purement naturelle. Ces cours d'eau se sont encaissés
 « parce qu'ils sont devenus moins chargés de matières solides
 « (comme serait la Loire, dirons-nous entre parenthèses,
 « après la fixation des berges), c'est-à-dire plus fluides que
 « ceux qui avaient formé ces anciens cônes ; car une plus
 « grande fluidité produit naturellement le même effet qu'un
 « certain resserrement ou qu'un certain redressement. Ce
 « sont trois circonstances qui accroissent également la vitesse
 « d'un courant, et la réduction de la pente s'ensuit, en sorte
 « qu'elle est simple, double ou triple, suivant qu'une, deux
 « ou trois de ces causes agissent. L'encaissement actuel des
 « torrents et rivières des deux versants des Alpes a pris du
 « temps et il est arrivé à son terme. Il s'est propagé en remon-
 « tant tout comme un ravin quelconque s'allonge à reculons
 « par rapport à l'eau qui y court après une ondée. C'est même
 « ainsi très probablement que les rebords de la plupart des
 « lacs de la Suisse et de l'Italie ont été sapés, que ces lacs se
 « sont abaissés »... — *L'Arve. Barrages de soutènement pro-*
posés. M. Dausse dit qu'il faut établir quelques barrages très
 « solides au fond du lit, pour que la réduction de la pente ne

1. *Hydraulique fluviale* (1884) page 213. Ce qui suit sur le Pô et l'Arve est extrait de M. Dausse (brochure de 1864).

risque en aucun cas de rendre peut-être impossible le maintien des digues... La pente d'équilibre une fois établie, *le fond du lit ferait un saut* de un mètre au plus à chaque barrage (*Hydraulique fluviale*).

On ne voit pas pourquoi M. Dausse parle d'une limite de la hauteur de chute; celle-ci dépend non seulement des diminutions kilométriques de la pente du lit et de la surface liquide, mais aussi de la longueur du bief (distance entre deux barrages successifs de soutènement du lit). La fixation des berges de l'Allier suffirait pour diminuer notablement le débit de sable de la Loire, et par suite donner *une plus grande fluidité aux eaux du fleuve*; la nouvelle pente d'équilibre serait moindre qu'autrefois, et si les berges convenablement défendues pouvaient subir un déchaussement de 2 mètres, alors que la *fluidité* plus grande des eaux correspondrait à une diminution de 0,10 par kilomètre de la pente superficielle, on voit que chaque bief pourrait être de 20 kilomètres; il en serait de même si l'abaissement maximum de l'étiage, au pied du barrage d'amont du bief, n'était obtenu qu'à l'aide de travaux de consolidation des berges locales, ou par le remplacement des rives actuelles par des digues établies suivant des tracés bien conçus.

Une troisième condition (sans prétendre n'en oublier aucune dans ce simple exposé d'idées que nous voulons seulement encourager la jeune génération à approfondir); une troisième condition, disons-nous, concernerait l'adoption d'un bon programme pour le tracé des barrages de soutènement. Devrait-on les placer dans l'emplacement des profondeurs maxima du thalweg, ou des profondeurs moyennes, ou des profondeurs minima? Nous inclinerions vers ce dernier parti, au cas d'une régularisation générale des rives, avec variations graduelles des courbures et des largeurs. Cela nous conduirait à avoir des barrages de soutènement obliques, à profil longitudinal en cuvette vers le milieu de la rivière, et là se trouveraient des

points obligés de passage du thalweg. Si ces passages ne s'effectuaient pas perpendiculairement aux barrages, on modifierait légèrement l'action des digues au moyen de quelques épis-noyés. On arriverait ainsi, pour le tracé du thalweg, à quelque chose d'analogue au tracé des courbes de pression dans les voûtes, quand les dispositions nécessaires sont prises pour que ces courbes passent forcément par des points donnés.

Comme l'indique leur nom, la crête des barrages de soutènement du lit serait établie au niveau de celui-ci; le fond de la rivière s'abaisserait à l'amont, sa pente et celle de la surface liquide diminueraient ¹, l'endiguement des rives étant fait d'après les bases rationnelles aujourd'hui bien connues. De là résulterait une chute au pied du barrage supérieur, dont l'éloignement devrait être limité pour abrégier l'évolution par déblaiement de la rivière et prévenir l'éboulement des rives. Chaque barrage serait accompagné d'une écluse en rivière ou en dérivation, suivant les cas, puisqu'il s'agit ici de navigation, et non pas seulement du régime des rivières.

Nous nous arrêtons là, parce que, encore une fois, nous ne voulons pas développer un sujet qui demanderait des études (et même des expériences) prolongées. Il nous a semblé, toutefois, qu'un cours principalement descriptif, comme est à peu près forcément un cours de navigation intérieure, ne devait pas laisser l'impression qu'il fallût abandonner tout espoir de modifier utilement, et peut-être même pour certains cours d'eau très utilement, ce qu'on fait aujourd'hui.

1. Comme cela s'est produit dans la Garonne, aux environs de l'embouchure du canal latéral, où la profondeur sur le radier de la dernière écluse s'est trouvée singulièrement amoindrie.

B.

EXPÉRIENCES SUR LES DÉFORMATIONS DES VANTAUX DES PORTES D'ÉCLUSE

Par M. GUILLEMAIN, inspecteur général des Ponts et Chaussées¹

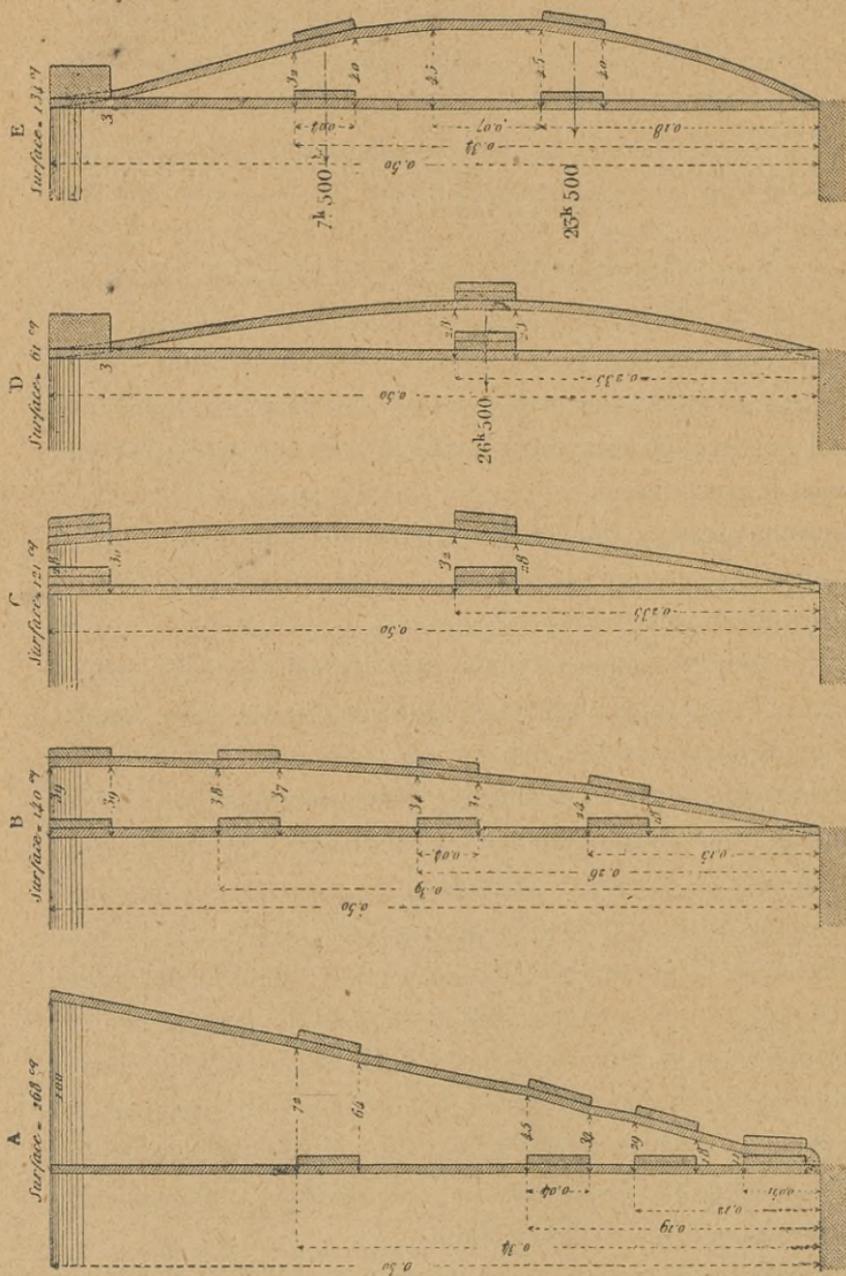
Nous avons cherché à faire faire un pas à la question en nous basant sur des expériences qui nous ont paru concluantes, et qui sont, d'ailleurs, d'une simplicité telle que tout le monde peut les renouveler.

Nous avons assimilé chaque vantail à un rectangle appuyé par le bas ainsi que par ses deux côtés verticaux, libre par le haut et recevant par la paroi d'amont, une pression d'eau égale à sa hauteur. Il nous a semblé qu'en faisant varier la position des pièces appelées à soutenir ce rectangle, tout en y maintenant la même pression, on pourrait juger, par l'amplitude des déformations obtenues dans chaque cas, de la position plus ou moins heureusement choisie de ces soutiens qui joueraient le rôle de la carcasse des portes.

Pour réaliser cette expérience, nous avons employé un bassin carré, dans l'une des faces verticales duquel existait une baie rectangulaire, placée à la partie supérieure. Cette baie a été fermée par une membrane en caoutchouc, très mince et très élastique, formée de deux feuilles juxtaposées. Le caoutchouc, dans la limite des flexions qui se sont développées sous la charge d'eau observée, n'était susceptible de fournir aucune résistance auxiliaire appréciable.

Entre les deux feuilles, nous avons placé, l'une à côté de l'autre et verticalement, de simples règles en poirier de

1. *Navigations intérieures, Rivières et Canaux*, tome II, pages 77 et suivantes.



PL. LXXXIV. EXPÉRIENCES SUR LES DÉFORMATIONS DES VANTAUX (PREMIÈRE SÉRIE)

0 m. 005 d'épaisseur de la hauteur de la baie, sur toute sa largeur. Ces règles représentaient les bordages d'une porte d'écluse, et apportaient au diaphragme pressé par l'eau, la roideur dans le sens vertical que reçoit le vantail des divers éléments verticaux qui entrent dans sa composition.

Restait à soutenir ce diaphragme, devenu plus rigide, mais encore incapable de toute résistance à la poussée de l'eau, par des pièces horizontales appuyées sur les côtés verticaux de la baie, comme les entretoises s'appuient sur les poteaux busqué et tourillon. Nous y avons pourvu à l'aide d'autres règles en bois, très flexibles et suffisamment faibles pour que leurs déformations fussent très sensibles. En faisant varier la place respective de ces mêmes règles, les déformations changeaient et permettaient ainsi de reconnaître la disposition qui, par une déformation minima, témoignait d'une résistance maxima.

Il ne faut certainement pas songer à établir entre ces deux ordres d'idées une proportionnalité qui n'existe pas ; mais, bien que la loi qui les relie ne soit pas précisée, il est permis de dire que plus la porte se déforme moins elle est résistante ; on en conclut alors le sens dans lequel on doit marcher pour placer le plus avantageusement possible les matériaux résistants dont on dispose.

Les cinq figures de la planche LXXXIV représentent, pour cinq répartitions différentes des entretoises, la quantité dont a marché, sous la pression de l'eau, la ligne verticale occupant le milieu du diaphragme. Dans chaque figure sont juxtaposées la position avant la mise en charge et la position après le déplacement obtenu par la poussée du liquide. La comparaison fera reconnaître les faits suivants :

Le maximum de déformation a lieu quand les entretoises (fig. A) sont espacées en raison inverse de la pression de l'eau ;

L'espacement égal des entretoises, la première étant à la surface de l'eau (fig. B), amène une amélioration très sensible ;

On gagne encore (fig. C) en réunissant les quatre entretoises deux à deux pour placer les unes à la partie supérieure, les autres vers le centre de pression, un peu au-dessous du milieu ;

Si, à l'aide d'une solide pièce (fig. D), on fixe le haut du vantail, en laissant les deux pièces du milieu réunies, la déformation se réduit à ce point que le bombement n'est plus, en surface, que les 23 centièmes de ce qu'il était au début ;

Enfin, si au lieu de réunir les deux pièces du milieu, on les sépare pour en faire des entretoises équidistantes, le bombement double immédiatement (fig. E). Il y a donc intérêt à grouper les résistances plutôt qu'à les disséminer.

Nous avons cherché à mesurer directement l'effort que devaient ainsi déployer les deux entretoises médianes, suivant qu'elles étaient réunies ou séparées. Pour y arriver, nous avons appuyé ces entretoises sur des arcs-boutants que tenaient en place des poids d'intensité variable, et nous avons fait varier ces poids jusqu'à ce que nous ayons obtenu une absence complète de déformation sous la charge d'eau uniforme qui a servi à toutes les expériences. Il a suffi de 26 k. 500 pour soutenir les entretoises réunies, tandis qu'il a fallu 30 k. 500 pour soutenir les mêmes pièces séparées. Il y avait donc avantage à les réunir.

Il n'était pas inutile de rechercher si l'influence de la roideur verticale n'était pas susceptible de modifier ce résultat. Pour y arriver, nous avons recommencé les expériences en substituant aux règles verticales de 0 m. 005 d'épaisseur d'autres règles de 0 m. 0025 seulement. En d'autres termes, nous avons réduit de moitié l'épaisseur du bordage. La planche LXXXV rend compte des résultats obtenus.

Sous l'influence d'un espacement des quatre entretoises, en raison inverse de la pression de l'eau, la surface de bombement qui, dans la première série d'expériences, était de 268 centimètres carrés, est devenue de 368 centimètres carrés (fig. A').

Si, pour corriger cette déformation considérable, on place une entretoise supplémentaire à la surface même de l'eau, l'aire du bombement se réduit à 231 centimètres carrés (fig. A').

Si les quatre entretoises primitives sont uniformément réparties, on n'arrive plus qu'à 178 centimètres carrés (fig. B').

En groupant ces entretoises deux à deux, la déformation augmente légèrement et devient 189 centimètres carrés (fig. C'). C'est là une anomalie que nous croyons être le résultat de la fatigue des pièces. Nous la citons néanmoins pour être exact dans notre compte rendu.

Mais en fixant le haut par une pièce solide, nous retompons dans les effets déjà obtenus. La déformation avec deux entretoises réunies est représentée par 117 centimètres carrés ; elle devient 131 centimètres carrés avec les entretoises séparées (fig. D' et E'). Et si nous cherchons l'effort nécessaire à l'empêcher, cet effort devient 32 kil. dans le premier cas, 38 kil. 500 dans le second.

Ces expériences, faites le 21 février 1879 avec le concours de MM. les ingénieurs Lavollée et Kleine, avaient été précédées d'autres essais du même genre, qui nous avaient amené à reconnaître, une année auparavant, que *la meilleure disposition est celle qui accumule la résistance en haut et un peu au-dessous du milieu du vantail.*

Reste à voir maintenant dans quelle mesure le principe qui vient d'être posé peut s'appliquer à la détermination des dimensions de la porte. Nous allons montrer comment on peut y arriver, à notre avis, en procédant par des *maxima*.

La première question qui se présente est celle-ci. Quelle dimension convient-il de donner à l'entretoise supérieure, que nous supposons placée au niveau du bief d'amont, le bief d'aval étant à sec, pour plus de simplicité ?

Il est évident que nous parerons à toutes les éventualités, même à celle qui lui rattachera tout le reste, si nous lui donnons la force nécessaire à supporter la charge que lui impose-

raient des aiguilles de même hauteur que la porte, soit $\frac{1}{3}$ de la pression totale qui s'exerce sur le vantail.

Où, maintenant, la partie centrale, supposée trop faible, verra-t-elle se produire sa déformation *maxima*? Evidemment, ce sera sur la verticale qui passe par le milieu, en vertu de la symétrie. Le panneau (supposé homogène, bien entendu) s'infléchira à la manière d'une aiguille chargée, c'est-à-dire que le maximum de flexion se trouvera entre les 43 et les 50 centièmes de la hauteur totale, à partir du seuil; c'est là, par suite, que nous appliquerons la puissance, comme nous l'avons dit plus haut, et comme les expériences témoignent qu'il faut le faire.

Mais quelle sera la force à mettre en jeu? Nous l'ignorons et nous avouons que nous ne voyons pas le moyen de la calculer d'une manière rigoureuse. Nous aurons alors recours à un nouveau maximum; nous supposerons le panneau décomposé en quatre triangles ayant leur sommet au centre de pression, et tendant à tourner autour de chacune des arêtes du cadre; ce sera comme si l'on avait donné deux traits de scie dans la porte suivant les diagonales, et comme si l'on cherchait à retenir le sommet des quatre triangles contre la poussée de l'eau, à l'aide d'une force unique appliquée à leur point de réunion. L'hypothèse est très exagérée et aboutira nécessairement à un excès de résistance; mais comme le temps fait promptement justice de ces excès de résistance, il n'y a pas d'inconvénient à l'adopter.

Appelons $2B$ la largeur du vantail, H et H' les distances respectives d'un point quelconque O de la ligne verticale médiane aux deux bases horizontales.

Supposons le niveau de l'eau d'amont à la hauteur de l'arête supérieure de la porte, et l'écluse vide en aval, de façon que la pression soit à son maximum.

Imaginons, en outre, que le vantail ait reçu dans son panneau six traits de scie OM , ON , OS , OQ , OP , OR , qui en aient divisé la surface en six triangles MON , NOS , SOQ ,

QOP, POR, ROM (fig. 91); chacun de ces triangles, sous la poussée de l'eau, tendra à pivoter autour de sa base; et, pour les maintenir tous en place, il suffira d'appliquer à leur sommet commun, une force qui mesurera l'effort maximum à appliquer en ce point pour maîtriser la déformation. Cette force sera d'ailleurs égale à la somme des forces composantes qui tiendraient en équilibre chaque triangle envisagé isolément, composantes que nous allons déterminer.

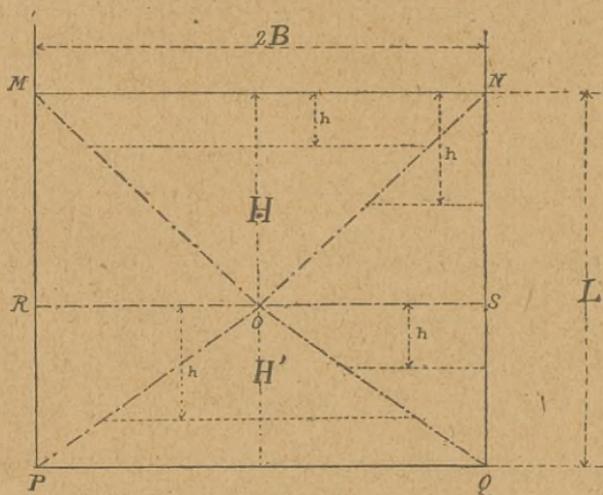


Fig. 91

1° Triangle MON. En considérant le triangle MON comme formé d'éléments horizontaux, la surface de chaque élément sera $2B \times \frac{H-h}{H} dh$.

La pression sur cette surface sera $2B \times \frac{H-h}{H} h.dh$.

Le moment de tout le triangle sera par suite $\frac{1}{6} BH^3$.

Et la force qui, appliquée au point O, c'est-à-dire à une distance H de la base, fournira le même moment, sera $\frac{1}{6} BH^2$ (1^{re} force).

2° Triangles NOS et MOR.

En considérant encore ces triangles comme composés d'élé-

ments horizontaux, la surface de chacun d'eux est $B \times \frac{h}{H} dh$, la pression d'eau est h , la distance à la charnière $\frac{1}{2} B \times \frac{h}{H}$, en sorte que le moment élémentaire a pour expression $\frac{1}{2} \frac{B^2}{H^2} h^3 dh$.

L'intégrale entre 0 et H sera $\frac{1}{8} B^2 H^2$, et la force qui, appliquée au point O, aura le même moment, sera $\frac{1}{8} BH^2$.

Pour les deux triangles, elle sera $\frac{1}{4} BH^2$ (2^e force).

3^o Triangles SOQ et ROP.

La surface de chaque élément horizontal est $B \times \frac{H' - h}{H} dh$.

La charge d'eau sur chacun d'eux est $H + h$.

La distance à la charnière est $\frac{1}{2} B \times \frac{H' - h}{H}$.

Le moment élémentaire sera par suite $\frac{1}{2} B^2 \left(\frac{H' - h}{H} \right)^2 (H + h)$.

Le moment résultant sera la somme des moments élémentaires entre 0 et H', c'est-à-dire en effectuant et intégrant, $\frac{1}{24} B^2 H'^2 + \frac{1}{6} B^2 HH'$, ou pour les deux triangles : $\frac{1}{12} B^2 H'^2 + \frac{1}{3} B^2 HH'$.

Et la force qui, appliquée au point O, c'est-à-dire à une distance B de la charnière, donne le même moment, sera $\frac{1}{12} BH'^2 + \frac{1}{3} BHH'$ (3^e force).

4^o Triangle QOP.

Dans le triangle QOP la surface élémentaire sera $2 B \frac{h}{H} dh$.

La charge d'eau $H + h$.

La distance à la charnière $H' - h$.

Le moment élémentaire $2 B \times \frac{h}{H} dh (HH' + hH' - hH - h^2)$,

et la somme des moments élémentaires entre 0 et H deviendra : $\frac{1}{3} BHH'^2 + \frac{1}{6} BH'^3$.

Dès lors, la force qui, appliquée au point O, c'est-à-dire à une distance H' de la charnière, donne le même moment, sera $\frac{1}{3} BHH' + \frac{1}{6} BH'^2$ (4^e force).

Si nous réunissons ces quatre forces appliquées au même point et dans la même direction, leur somme nous donne, pour la force totale à appliquer au point O, l'expression $\frac{B}{12} (5H^2 + 8HH' + 3H'^2)$.

Transformons un peu cette formule, pour la rendre plus aisément discutable.

Appelons L la hauteur totale de la porte et faisons $H = \alpha L$, il s'ensuivra $H' = (1 - \alpha) L$, et l'expression deviendra

$$BL^2 \left(\frac{2\alpha + 3}{12} \right).$$

Or, si nous remarquons que BL^2 n'est pas autre chose que la pression totale supportée par le vantail, et si nous appelons P cette pression totale, la force à appliquer au point O sera définitivement $P \times \frac{2\alpha + 3}{12}$.

Si nous faisons $\alpha = 0$, c'est-à-dire si le point O est au sommet de la porte, la force devient minima et égale aux $\frac{3}{12} P$, c'est-à-dire $\frac{P}{4}$.

Si nous faisons $\alpha = 1$, c'est-à-dire si O est sur le seuil, la force est à son maximum $\frac{5}{12} P$.

Enfin, pour $\alpha = 0,50$, c'est-à-dire si le point O est au milieu de la porte, la force devient $\frac{4}{12}$ ou $\frac{1}{3}$ de P.

Observons en passant que si, au lieu de faire $\alpha = 0,50$,

nous prenons $\alpha = 0,60$, le coefficient de P passe simplement de $\frac{4}{12}$ à $\frac{4,20}{12}$, c'est-à-dire ne varie que de 1,66 0/0. On peut donc faire varier le point d'application de la force qui doit s'opposer à la déformation du vantail, aux environs du milieu, sans modifier sensiblement son intensité.

En définitive, nous sommes conduits à cette seconde règle qu'il faut appliquer au centre du vantail une résistance égale au tiers de la pression totale que l'eau exerce sur ce vantail.







Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000294694