

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inv.

5116

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000299191



X
2.116

267 - 289 *postes busquies.*
420 43 / *Adipis*
420/421)

1 / 1

1

L. 443

MANUEL DE L'INGÉNIEUR

DES PONTS ET CHAUSSÉES

RÉDIGÉ

CONFORMÉMENT AU PROGRAMME

ANNEXÉ AU DÉCRET DU 7 MARS 1868

RÉGLANT L'ADMISSION DES CONDUCTEURS DES PONTS ET CHAUSSÉES
AU GRADE D'INGÉNIEUR

PAR

A. DEBAUVE

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES

IX — *15069* — *IX*

19^{me} FASCICULE

NAVIGATION FLUVIALE ET MARITIME

DEUXIÈME PARTIE

CANAUX



PARIS

DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES

49, QUAI DES AUGUSTINS, 49

1877

VII 6. 45

347

NAVIGATION FLUVIALE ET MARITIME

— DEUXIÈME PARTIE —



TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

115116

CHAPITRE I

Alimentation des canaux

Définition d'un canal.	219
Ecluse à sas.	219
Des biefs ou biez.	220
Canal latéral.	220
Canal à point de partage.	221
DÉPENSE D'EAU D'UN CANAL.	221
1 ^o Dépense d'eau pour les bateaux franchissant tout le canal.	222
Le nombre des bateaux est limité par la durée du passage à une écluse.	225
Dépense des bateaux parcourant une branche du canal à vide et l'autre à charge.	224
2 ^o Dépense d'eau due aux écluses accolées.	223
5 ^o Dépense pour les bateaux qui ne franchissent pas le bief de partage.	226
4 ^o Dépense due aux différences dans les dimensions des écluses.	226
5 ^o Dépense due à l'affluence des bateaux dans les biefs courts.	228
6 ^o Dépense due aux filtrations apparentes.	229
7 ^o Dépense due à l'évaporation.	229
8 ^o Dépense due aux filtrations continues.	250
9 ^o Dépense due aux fausses manœuvres.	251
10 ^o Dépense due aux bateaux échoués et aux avaries des ouvrages d'art.	251
Résumé : Dépense d'eau totale.	252

MOYENS D'ALIMENTATION DES CANAUX

Position la plus avantageuse pour le bief de partage.	252
Les réserves d'eau ne doivent pas être accumulées au bief de partage.	253
Les calculs doivent être basés sur la saison la plus sèche et non sur une moyenne.	254
Les prises d'eau rapprochées nuisent moins aux usines.	255
1 ^o Alimentation du canal du Centre.	256

2 ^o Alimentation du canal de Bourgogne.	239
5 ^o Alimentation du canal du Nivernais.	240
4 ^o Alimentation du canal de la Marne au Rhin, traversée des Vosges.	241
5 ^o Alimentation du canal de l'Aisne à la Marne, machines élévatoires.	245
Comparaison entre les divers systèmes de machines élévatoires.	249
Programme du concours pour les machines élévatoires.	250

MOYENS D'ÉCONOMISER L'EAU DES ÉCLOSÉS

1 ^o Bassins d'épargne.	255
2 ^o Flotteurs de Bétaucourt.	254
5 ^o Colonnes d'eau oscillantes de M. de Caligny.	256
INFLUENCE DES ÉCLOSÉS SUR LA PUISSANCE DE TRAFIC D'UN CANAL.	259
INCONVÉNIENTS DES PASSAGES RÉTRÉCIS DES CANAUX.	265

CHAPITRE II

Des écluses à sas

Description d'une écluse à sas.	266
Dimensions des coulisses et poutrelles.	268
Mur de défense d'amont.	269
Enclave.	269
Chardonnet.	269
Dispositions ordinaires du chardonnet.	270
Chardonnet pour portes métalliques.	271
Dimensions du busc.	271
Du mur de chute.	272
Du sas.	275
Partie aval d'une écluse.	275
Accessoires d'une écluse.	275
Hauteur d'une écluse.	275

CALCULS RELATIFS À LA CONSTRUCTION DES ÉCLOSÉS

1 ^o Profil des bajoyers.	275
---	-----

Akc. Nr.

4409/50

DEUXIÈME PARTIE

DES CANAUX

CHAPITRE PREMIER

ALIMENTATION DES CANAUX

GÉNÉRALITÉS

Définition d'un canal. — Les canaux sont des cours d'eau artificiels qui diffèrent des cours d'eau naturels par deux points principaux :

1° Leur section transversale est régulière, déterminée par la nature du terrain et par la circulation que la voie est appelée à desservir ;

2° La pente du lit n'est pas continue comme dans les rivières ; le fond du canal, et par conséquent la surface des eaux, sont composés de sections horizontales reliées par des chutes brusques. — Le passage des bateaux d'une section dans l'autre se fait au moyen d'un appareil hydraulique particulier : l'écluse à sas.

Une comparaison simple fera comprendre nettement la différence entre les rivières et les canaux :

Les rivières sont des plans inclinés ;

Les canaux sont des escaliers hydrauliques.

Les rivières canalisées participent à la fois des rivières naturelles et des canaux : ce sont des escaliers dont le dessus des marches est incliné au lieu d'être horizontal.

Écluse à sas. — L'élément des canaux est l'écluse à sas, dont les figures 1 de la planche XXVIII représentent le mécanisme.

En coupe longitudinale sur l'axe du canal, le fond du lit se compose de deux

lignes horizontales *ab* et *cd* reliées par une ligne verticale *bc*, qui est le parement du mur de chute de l'écluse. — Le niveau de l'eau à l'amont de l'écluse est *mn* et *pq* à l'aval ; la différence entre ces deux niveaux mesure la chute de l'écluse ; dans le cas actuel, la chute de l'écluse est égale aussi à la hauteur *bc* du mur de chute. L'écluse peut être fermée à l'amont par une paire de portes à rotation verticale *ef*, *gh*, et à l'aval par une paire de portes semblables *il*, *lr* ; l'intervalle compris entre les deux portes constitue le sas, dans lequel on enferme les bateaux qui veulent traverser l'écluse. — Il va sans dire que les portes d'aval sont plus hautes que les portes d'amont, d'une quantité égale à la chute.

Supposons qu'un bateau venant de l'amont se présente pour traverser l'écluse. Voyons quelle sera la manœuvre :

1° On laissera, soit par un aqueduc, soit par des vannes ou ventelles ménagées dans les portes d'amont, pénétrer l'eau d'amont dans le sas jusqu'à ce que le niveau s'y élève jusqu'en *mn* ; à ce moment, les portes *efgh* seront également pressées sur les deux faces ; il sera facile de les ouvrir, car on n'aura à vaincre que le frottement. — Les portes ouvertes, on fera entrer le bateau A dans le sas ;

2° Le bateau étant entré, on fermera les portes d'amont et on mettra le sas, soit par un aqueduc, soit par des ventelles ménagées dans les portes d'aval, en communication avec les eaux d'aval ; l'eau du sas s'écoulera jusqu'à ce que le niveau soit descendu à la ligne *pq* ;

3° Le bateau est descendu en même temps ; les portes d'aval, également pressées sur leurs deux faces, sont faciles à ouvrir ; on les ouvre et on tire le bateau en dehors de l'écluse.

L'écluse est prête alors pour recevoir un bateau montant, qui subira les manœuvres inverses de celles que nous venons de décrire ; si c'était un second bateau descendant qui se présentât, il faudrait d'abord fermer les portes d'aval et remplir le sas avec l'eau d'amont.

L'invention des écluses à sas est généralement attribuée à Léonard de Vinci, et on ne la fait pas remonter au delà de 1460 ; M. Lombardini a prouvé que la première écluse à sas a été construite par Philippe Visconti, en 1459, pour faciliter le transport des marbres du dôme de Milan ; cette écluse, dite de Viarenna, a été établie près de Milan et rachetait une chute de 3 mètres entre le Laghetto Vecchio et le Laghetto Nuovo.

Des biefs ou biez. — On désigne sous le nom de bief la partie de canal comprise entre deux écluses consécutives ; la longueur d'un bief se mesure généralement entre les portes d'aval des deux écluses, de sorte que cette longueur comprend celle de l'écluse d'aval.

Le mot bief s'emploie aussi sur les rivières, pour désigner la partie comprise soit entre deux barrages consécutifs, soit même entre deux hauts fonds ou barrages naturels. Le mot bief, ou biez, est très-ancien ; on le trouve dans nos vieux auteurs comme synonyme de fossé ; les usines étaient souvent construites sur des dérivations, d'où le nom de biez pour leur canal d'amenée.

Ce mot paraît avoir une origine germanique ; on en trouvera l'étymologie dans le terme *bett*, qui en allemand désigne un lit.

Canal latéral. — Un canal latéral à une rivière est établi dans la vallée même de cette rivière, dont il suit le cours à quelque distance. Un tel canal est utile lorsque la rivière à côté de laquelle il se développe présente un lit défectueux ou une pente trop rapide. — C'est le cas de la Loire et de la Garonne. — Il est

utile, encore, lorsqu'il permet de couper une boucle étendue et d'abrèger le parcours.

Souvent les biefs des canaux latéraux ne sont pas horizontaux, mais présentent une légère pente, de sorte qu'ils sont parcourus sans cesse par un courant d'eau vive. Cette disposition n'offre pas grand inconvénient, pourvu qu'elle ne donne lieu qu'à de faibles vitesses; elle a des avantages pour le renouvellement des eaux et pour la création d'usines hydrauliques; mais elle n'est possible que lorsque le canal s'alimente largement au moyen de dérivations pratiquées sur la rivière naturelle.

Canal à point de partage. — Un canal à point de partage est celui qui permet de passer d'un versant d'une chaîne de montagnes sur l'autre versant. Il a donc un point culminant, le bief de partage, qui, évidemment, doit se trouver au col le plus bas de la ligne de faite qui sépare les deux versants.

De chaque côté du bief de partage descend une branche qui ne diffère en rien d'un canal latéral.

En général, un canal à point de partage réunit la navigation de deux rivières ou de deux mers; le canal de Bourgogne réunit la Saône et l'Yonne, et par conséquent le Rhône et la Seine; le canal de Briare réunit la Loire et la Seine; le canal Calédonien traverse l'Ecosse en reliant les deux côtes.

On comprend sans peine que la difficulté principale, pour ainsi dire la seule que présente l'exécution d'un canal à point de partage, c'est de trouver assez d'eau pour l'alimentation du bief de partage.

ALIMENTATION DES CANAUX

Le problème de l'alimentation d'un canal à point de partage se compose de deux termes :

I. Il faut, d'une part, calculer la dépense d'eau qu'exigera le canal lorsqu'il aura atteint la période de plein fonctionnement;

II. Il faut ensuite chercher les moyens d'approvisionner une quantité d'eau égale à la consommation prévue.

Le canal est parfait, lorsque l'équation précédente est transformée en égalité.

Le premier terme, la dépense d'eau, est assez facile à établir; il est moins facile de réaliser le second terme, et, dans ces derniers temps, on a eu recours pour le faire à des machines élévatoires prenant l'eau dans une rivière voisine du canal et la refoulant jusqu'au bief de partage.

I. — Dépense d'eau d'un canal

La dépense d'eau d'un canal a été longtemps mal évaluée; Gauthey, l'un des maîtres en la matière, avait lui-même éprouvé de graves mécomptes dans ses calculs. C'est M. Comoy, inspecteur général des ponts et chaussées, qui paraît

avoir le premier examiné et formulé nettement les diverses causes de consommation.

Il faut distinguer deux espèces de causes de consommation :

- 1° Les causes locales, agissant en des points déterminés du parcours ;
- 2° Les causes continues, qui se font également sentir sur toute la longueur.

Les causes locales sont :

1° Le mouvement des bateaux qui franchissent tout le canal en passant par le point de partage ;

2° Le passage des bateaux dans les écluses accolées ;

3° Le mouvement des bateaux, qui viennent chercher et emmènent vers l'aval les produits d'un port situé sur un des versants ;

4° La perte d'eau supplémentaire produite dans les biefs où l'écluse d'aval a une chute ou des dimensions plus fortes que celles de l'écluse d'amont ;

5° La dépense d'eau supplémentaire qu'exige l'affluence des bateaux dans les biefs courts ;

6° Les filtrations apparentes qui se produisent çà et là.

Les causes continues sont :

7° L'évaporation ;

8° Les filtrations à travers les terres, filtrations qui dépendent de la nature des terres ;

9° Les fausses manœuvres des éclusiers ;

10° Les pertes d'eau résultant des bateaux échoués et d'avaries aux ouvrages d'art du canal, ainsi que du remplissage après les chômages.

1° DÉPENSE D'EAU POUR LES BATEAUX FRANCHISSANT TOUT LE CANAL

Considérons un bateau, déplaçant un volume d'eau B , qui se présente à l'écluse inférieure d'un versant ; les portes d'aval sont ouvertes, le bateau pénètre dans l'écluse, on ferme les portes derrière lui (fig. 2, pl. XXVIII), on remplit le sas de manière à faire monter le niveau de pq en mn ; on tire donc du bief supérieur un volume d'eau égal à la section horizontale de l'écluse multipliée par la hauteur de chute. Ce volume est ce qu'on appelle une *éclusée*, nous le désignons par la lettre E . Le bateau est donc soulevé jusqu'au niveau mn , comme le montre la figure 2 ; alors, on ouvre les portes d'amont et on tire le bateau pour le sortir du sas et l'introduire dans le bief ; la place qu'il occupait est remplie par de l'eau tirée de ce bief.

En somme, le bief a donc perdu un volume d'eau égal à $E+B$.

Mais, au passage de l'écluse suivante, un égal volume sera tiré du second bief et versé dans le premier, qui se trouvera ramené à son état naturel.

De même, après le passage de la troisième écluse, le second bief sera revenu à son niveau normal, grâce à l'eau qu'il aura reçue du troisième.

Et ainsi de suite jusqu'au bief de partage, qui aura perdu un volume d'eau égal à $E+B$.

Arrivé au point de partage, le bateau descend le versant opposé : il se présente à la première écluse, qu'il faut remplir en y versant une *éclusée* ; cela fait, le bateau s'engage dans le sas, mais il en fait sortir et revenir dans le bief de partage un volume égal à son déplacement B , de sorte que la quantité d'eau prise au bief de partage n'est en somme que $(E - B)$.

Cette quantité suffira pour faire descendre le bateau sur tout le versant, puisqu'elle est transmise d'un bief à l'autre.

La consommation totale pour le passage du canal entier sera donc seulement de deux fois une écluse ou $2E$.

Il est à remarquer que ce calcul est fait dans l'hypothèse d'un bateau unique circulant sur le canal; si l'on considère deux bateaux se croisant au bief de partage et marchant en sens contraire, l'un profitera pour descendre des écluses qu'a laissées pleines celui qui vient de monter, et l'autre descendra avec les éclusées qui ont servi à faire monter le premier.

La dépense totale pour les deux bateaux ne sera donc que de deux éclusées, et d'une seule écluse pour chacun d'eux respectivement.

Si les deux bateaux se croisaient après le bief de partage, ils tireraient de ce bief trois éclusées.

En général, s'il y a m bateaux qui passent dans un sens et n dans l'autre, m étant plus grand que n , le minimum d'éclusées tirées du point de partage sera $2m$.

Mais, ces calculs théoriques supposant le passage alternatif des bateaux n'ont pas grand intérêt; il faut se tenir au large dans les évaluations et considérer chaque bateau comme s'il devait passer seul.

Aussi doit-on compter une dépense de deux éclusées pour chaque bateau qui traverse le canal.

C'est ce que conseillent de faire MM. Comoy et Graëff. — Pour les biefs de partage, dit ce dernier, il est toujours prudent dans un avant-projet de calculer tout au maximum, les pertes et la dépense due au passage des bateaux. Si n désigne le nombre maximum de bateaux que l'on supposera devoir franchir le bief de partage, E le cube d'une écluse, L la longueur du bief de partage, le cube d'eau consommée par la navigation par mètre courant sera

$$\frac{2E.n}{L}$$

Au canal de la Marne au Rhin, le volume d'une écluse était d'environ 500 mètres cubes, ce qui donnait pour le cube d'eau consommé par la navigation par mètre courant du bief de partage, l'expression simple :

$$\frac{1000.n}{L}$$

Le nombre des bateaux est limité par la durée du passage à une écluse. — Il ne faut pas croire que le nombre des bateaux, qui peuvent traverser un canal dans un temps donné, soit illimité; ce nombre est au contraire très-limité.

En effet, la manœuvre complète d'une écluse pour le passage d'un bateau dure un temps assez long, qui dépend des systèmes adoptés pour l'admission et l'émission de l'eau, mais qui ne peut cependant tomber au-dessous de quelques minutes.

Avec les anciens siphons de Gauthey au canal du Centre, la manœuvre complète d'une écluse durait vingt minutes; en ajoutant des ventelles aux portes, ce temps fut réduit à quatorze minutes.

Dans ce cas, on n'aurait donc pu faire passer que quatre bateaux à l'heure,

soit quarante bateaux par jour, en admettant que la durée du travail des mariniens fut réduite à dix heures en moyenne.

Si la circulation devenait plus active, il faudrait installer un service de nuit ou juxtaposer une seconde série d'écluses, de même que l'on ajoute une seconde voie à un chemin de fer dont la voie unique se trouve encombrée à cause de la fréquence des trains.

On adoptera en général, dit M. Graëff, pour le nombre n des bateaux qui traverseront le canal chaque jour, le nombre maximum de bateaux qui puissent passer dans une écluse par jour de douze heures, plus une partie à passer dans la nuit. Dans le projet d'alimentation dressé en 1851 pour le canal de la Marne au Rhin, on avait admis le passage de quarante-cinq bateaux par vingt-quatre heures.

Dépense d'eau des bateaux parcourant une branche du canal à vide et l'autre à charge. — Il est rare que les parties d'un canal voisines du bief de partage appartiennent à des régions industrielles susceptibles de fournir un trafic notable; cependant le cas peut se présenter: le canal de Givors, près Saint-Étienne, en est un exemple.

Supposons donc que les bateaux remontent à vide l'un des versants et descendent l'autre après avoir pris charge au bief de partage; appelons e la chute des écluses, s la section horizontale du sas, h le tirant d'eau des bateaux à vide et H leur tirant d'eau à charge.

La section horizontale du sas diffère peu de celle des bateaux qui fréquentent le canal; on doit même tendre à rendre la différence aussi faible que possible afin de réduire la consommation d'eau au strict nécessaire; le volume d'eau déplacé par le bateau sera donc sh à vide et sH à charge.

Pour monter, un bateau aura tiré du bief de partage une écluse plus son volume de déplacement à vide, et pour descendre il aura tiré une écluse moins son volume de déplacement à charge.

La dépense d'eau totale sera donc approximativement égale à :

$$s(2e + h - H)$$

Cette dépense sera nulle lorsqu'on aura la relation :

$$e = \frac{H - h}{2}.$$

Ainsi, un bateau, ayant 1^m,80 de tirant d'eau à charge et 0^m,50 à vide, ne déterminera aucune consommation d'eau au bief de partage si la chute des écluses est de 0^m,65.

On comprend facilement qu'il en soit ainsi: le bateau, en s'enfonçant à mesure qu'on le charge, relève le niveau du bief et fait monter une tranche d'eau dont le volume est égal à l'accroissement de l'immersion.

Pour annuler la dépense ou même pour la rendre négative, ce qui transforme cette dépense en gain pour le bief de partage, on voit qu'il faudrait adopter des écluses de très-faible chute, ce qui conduirait à en multiplier le nombre.

On augmenterait donc la dépense outre mesure pour réaliser un mince avantage et il n'est pas étonnant que le système n'ait pas été mis en pratique.

2° DÉPENSE D'EAU DUE AUX ÉCLUSES ACCOLÉES

Dans les anciens canaux, lorsqu'on avait à racheter une chute considérable sur un faible parcours, on accumulait les écluses sur un seul point, et l'on en avait jusqu'à sept et huit d'étagées les unes au-dessus des autres.

Une pareille disposition donne lieu à une construction imposante et produit même une certaine économie sur la masse de maçonnerie ; mais elle est des plus vicieuses au point de vue de la dépense d'eau et de la rapidité de la circulation.

En ce qui touche ce dernier point, lorsqu'un bateau est engagé dans le groupe d'écluses, il faut attendre qu'il l'ait parcouru tout entier pour faire descendre un autre bateau ; la manœuvre de chaque écluse étant assez longue, les bateaux peuvent subir un arrêt considérable.

En ce qui touche la dépense d'eau, considérons un bateau montant qui se présente devant un groupe d'écluses contenant chacune le volume d'eau correspondant au prisme de flottaison, c'est-à-dire au tirant d'eau normal du canal ; on devra introduire dans chaque sas une éclusée E, et dans le sas supérieur une éclusée E plus le déplacement B du bateau. — La dépense d'eau sera donc, n étant le nombre des écluses :

$$(nE + B).$$

Pour un bateau descendant, une seule éclusée suffira à le faire passer dans tous les sas accolés, et la dépense sera $(E - B)$.

De sorte que la dépense moyenne sera la moitié de $(n + 1)$ éclusées. S'il y a sept écluses consécutives, la dépense moyenne sera donc de quatre éclusées au lieu de deux, chiffre trouvé dans un canal à écluses séparées.

Ce calcul suppose encore que les écluses gardent toujours chacune une hauteur d'eau égale au tirant d'eau, c'est-à-dire un volume d'eau égal au prisme de flottaison ; mais, le plus souvent, les écluses se vident, il faut donc rendre à chacune non-seulement une éclusée, mais encore un prisme de flottaison.

La faute des écluses accolées a été commise au canal de Briare ; il y a sept écluses contiguës que l'on aurait pu séparer en développant le tracé à flanc de coteau : ces sept écluses présentent, au point de vue de la rapidité de circulation, le même inconvénient qui se manifesterait sur une voie ferrée unique où il existerait deux stations très-éloignées. Ces sept écluses sont sur le versant de Paris, c'est-à-dire dans le sens du plus grand trafic, de sorte qu'elles présentent moins d'inconvénient que si elles se trouvaient sur l'autre versant.

Au canal du Midi, il y a des écluses accolées sur les deux versants ; ce sont des écluses doubles et triples. — Avec une écluse triple, un bateau montant, qui ne devrait dépenser que 600 mètres cubes d'eau, en dépense 1800 mètres cubes. — Près de Béziers, on trouve huit écluses superposées à la suite d'un très-long bief de niveau ; bien que ce bief soit bien alimenté, une certaine pénurie d'eau peut se faire sentir aux écluses pendant les moments de grande fréquentation, l'eau n'arrivant pas assez vite.

La perte de temps à ces huit écluses de Béziers était au moins d'une heure

et demie : cette perte était si désagréable que, pour le service des voyageurs, on faisait le transbordement par terre du bief inférieur au bief supérieur.

La question d'économie qu'on invoquait à l'appui des écluses accolées n'est pas très-importante ; il est vrai que, pour chaque écluse intermédiaire, on supprime une paire de portes et les murs d'épaulement et de tête ; mais les bajoyers qui se trouvent après le second mur de chute et les suivants sont beaucoup plus élevés que dans les écluses simples et par conséquent coûtent beaucoup plus cher.

C'est donc uniquement pour des raisons de sentiment que les anciens ingénieurs ont eu recours à des groupes d'écluses : faire monter un bateau d'une grande hauteur dans un espace resserré frappait sans doute leur imagination.

3° DÉPENSE D'EAU POUR LES BATEAUX QUI NE FRANCHISSENT PAS LE BIEF DE PARTAGE

Il existe quelquefois sur un des versants un établissement industriel important, des mines ou des forges par exemple. — Cet établissement exige un port spécial et donne lieu à une circulation spéciale : presque toujours les bateaux y montent pour prendre charge et redescendent ensuite sans gagner le point de partage.

Il faut compter, pour chacun de ces bateaux, une dépense de deux éclusées à prendre dans le bief dont il s'agit.

Il convient de retrancher du nombre total des bateaux ceux qui continuent leur route vers le bief de partage, car ceux-là tirent une éclusée du bief dont il s'agit quand ils y pénètrent, mais ils lui en rendent une lorsqu'ils passent dans le bief supérieur.

Si le sens de la circulation était inverse et que le port en question envoyât ses produits non pas vers l'aval, mais vers l'amont, le bief de ce port recevrait une éclusée d'amont à l'arrivée d'un bateau venant prendre charge ; il en recevrait une seconde au départ de ce bateau chargé remontant vers le bief de partage : il aurait donc reçu en tout deux éclusées pour chaque bateau circulant de cette façon.

Par suite, ce bief aurait un excès d'eau et pourrait servir à alimenter en partie la branche d'aval, à laquelle il servirait de prise d'eau.

4° DÉPENSE D'EAU DUE AUX DIFFÉRENCES DANS LES DIMENSIONS DES ÉCLUSES

Considérons un bief dont l'écluse d'aval a des dimensions plus fortes que celles de l'écluse d'amont, il est clair que chaque passage de bateau occasionnera dans ce bief une consommation d'eau égale à la différence entre le cube de l'écluse d'aval et le cube de l'écluse d'amont.

Il faudra donc créer dans le bief une prise d'eau spéciale, ou bien tirer de l'amont, par le jeu des ventelles des portes, ce qu'il faut de liquide pour réparer la perte après le passage de chaque bateau.

On voit, par ces quelques mots, toute l'importance qui s'attache à l'égalité de hauteur de chute des écluses, surtout dans le voisinage du point de partage où l'on doit ménager l'eau avec circonspection.

Dans les canaux anciens, on ne s'est pas préoccupé de la hauteur de chute, « et cependant, dit Gauthey, cette diversité entraîne un des inconvénients les plus considérables, puisque la quantité d'eau dépensée par chaque bateau doit toujours se compter, de chaque côté du point de partage, sur le volume qu'exige celle des écluses qui a le plus de hauteur. » Dans ces anciens canaux, on trouve des hauteurs de chute de 4^m,92 à 4^m,50; il y en a même qui tombent à 0^m,81 sur le canal du Midi.

Cette diversité peut avoir lieu dans les canaux qui reçoivent des ruisseaux à différents endroits de leur longueur; mais dans toutes les parties où le canal ne reçoit pas de nouveaux ruisseaux, il est certain que c'est un grave inconvénient de ne pas donner la même hauteur à toutes les chutes des écluses, surtout près du point de partage, parce que cette disposition conduit à dépenser beaucoup plus d'eau qu'il n'est nécessaire.

Au canal de Briare, la première écluse vers la Seine est de 2^m,27, et la septième de 5^m,68; du côté de Loire, la première écluse est de 5^m,76, et la troisième de 4^m,22. La chute moyenne est de 2^m,41. Avec des écluses de chute uniforme, le passage d'un bateau dépenserait 740 mètres cubes, tandis qu'il en dépense 1377 mètres cubes, soit presque le double.

Hauteur de chute des écluses près du point de partage. — Le passage d'un bateau prenant deux écluses au bief de partage, il y a avantage à diminuer autant que possible le cube des écluses, c'est-à-dire la hauteur de chute des écluses. Mais il faut alors en multiplier le nombre, d'où un grand accroissement de dépenses.

En allant trop loin dans cette voie, on finirait par acheter trop cher un avantage dont il ne faut pas s'exagérer l'importance, car la plus grosse part de la consommation d'eau d'un canal est due non au passage des bateaux, mais aux causes continues de dépense par évaporation et infiltration.

La multiplication du nombre des écluses a du reste le grand inconvénient de retarder la circulation outre mesure, et de réduire la puissance du trafic de la voie.

Ecluses contenant plusieurs bateaux. — On a fait, sur certains canaux, des écluses contenant à la fois plusieurs bateaux, que l'on place généralement en longueur. Dans ces écluses, les têtes et les chambres des portes seules sont en maçonnerie; sur le reste de la longueur, les bajoyers en maçonnerie peuvent être remplacés par des massifs de terre perreyés; la construction n'est donc pas coûteuse, et, en faisant circuler les bateaux par convois, on peut activer la circulation.

Mais la consommation d'eau augmente considérablement lorsqu'il s'agit d'écluser un seul bateau. Ce système n'est donc admissible que si l'on dispose de grandes quantités d'eau et de moyens rapides d'alimentation. Il convient bien plutôt aux rivières canalisées qu'aux canaux proprement dits.

On a fait des écluses capables de contenir deux bateaux bout à bout, de longueur différente; dans ce cas, en disposant une paire de portes intermédiaire, on peut faire passer séparément un grand ou un petit bateau, ou bien faire passer simultanément un grand et un petit bateau. Mais cette disposition est peu utile: les bateaux qui fréquentent un canal ont tendance à s'approcher de l'uniformité, et la diversité est l'exception.

D'une manière générale, en tant qu'il s'agit des canaux, les écluses capables de contenir plusieurs bateaux à la fois ne donnent pas d'économie sensible dans le temps, et sont susceptibles d'entraîner une plus grande consommation d'eau.

5° DÉPENSE D'EAU DUE A L'AFFLUENCE DES BATEAUX DANS LES BIEFS COURTS

Considérons un bateau qui monte dans un bief, il en tire une éclusée : si le sas a par exemple 53 mètres de longueur et 5^m,20 de largeur, sa superficie est de 171,^m60, et, si l'écluse a 2^m,50 de chute, la valeur de l'éclusée est de 419 mètres cubes. S'agit-il d'un canal ayant 15 mètres de large et une longueur l , l'éclusée qu'on enlèvera au bief fera baisser le niveau de

$$\left(\frac{429}{l \times 15} \right) \text{ ou de } \left(\frac{28,6}{l} \right).$$

Or, un canal ayant 2 mètres de mouillage ne peut admettre que des bateaux ayant 4^m 80 de tirant d'eau au maximum; autrefois on comptait même 0^m 52 de hauteur libre entre la quille et le fond du canal, et on n'admettait pas que le niveau de la flottaison pût s'abaisser de plus de 0^m 16.

La longueur minima à adopter pour les biefs serait donc, dans ce cas, fixée par l'équation :

$$28,6 = 0,16.l$$

qui donne :

$$l = 178 \text{ mètres.}$$

Toutes les fois donc que le canal en question présentera des biefs d'une longueur moindre que 178 mètres, non compris la longueur de l'écluse, il faudra introduire dans ces biefs un volume d'eau supplémentaire afin de maintenir la flottaison à son niveau normal.

Il y a donc de grands inconvénients, au point de vue de la dépense d'eau, à avoir des écluses trop voisines. Ces inconvénients sont d'autant plus grands que les écluses se rapprochent davantage de la contiguïté.

Les biefs courts ont cependant moins de désavantages que les écluses contiguës, parce qu'ils ne font pas perdre de temps et ne s'opposent pas au croisement des bateaux. Reste la dépense d'eau supplémentaire; mais elle n'a pas grand inconvénient, car il faut toujours de l'eau pour réparer les pertes par évaporation et infiltration dans les biefs d'aval.

Les biefs où séjournent les bateaux doivent être longs. — Lorsque les bateaux doivent séjourner dans un bief qui donne lieu, par exemple, à un commerce spécial, il faut que ce bief ait une grande étendue, qu'il soit très-long ou très-large, « afin, dit Gauthey, que les éclusées que les bateaux montants tirent de ce bief ne fassent pas baisser l'eau assez considérablement pour empêcher qu'ils ne soient à flot, ou que les bateaux descendants n'en fassent pas entrer assez pour qu'elle passe par-dessus les portes. »

Ainsi, en adoptant les chiffres relatifs au canal précédent, dix bateaux mon-

tants ne pourront s'arrêter dans un bief que s'il a 1 780 mètres de longueur, en admettant toutefois que pendant le même temps il n'en descende aucun.

Pour qu'il n'y ait pas d'inconvénient, il faudrait que le nombre des bateaux avalants fût égal au nombre des bateaux montants.

Du reste, on peut régler les arrêts des bateaux de manière à en éviter l'affluence dans les biefs courts.

6° DÉPENSE D'EAU DUE AUX FILTRATIONS APPARENTES

Sous le nom de filtrations apparentes il faut entendre, non pas ces infiltrations continues qu'il est impossible d'éviter absolument et qui se produisent toujours, mais les fuites accidentelles dues à une avarie des levées ou à des traversées de terrains exceptionnellement mauvais.

De pareilles filtrations ne doivent point exister à l'état permanent; lorsqu'elles existent, il faut procéder à tous les travaux d'étanchement nécessaires.

Dans le cas où l'on aurait de l'eau à discrétion, ou bien si l'on voulait éviter les frais d'étanchement, il faudrait remplacer les pertes dues aux infiltrations par un volume d'eau emprunté aux réserves. Les pertes sont, du reste, faciles à évaluer en comparant entre elles les quantités d'eau qui passent aux écluses d'amont et d'aval du bief où les filtrations apparentes existent.

7° DÉPENSE D'EAU DUE A L'ÉVAPORATION

Nous avons étudié en *Météorologie*, page 98, le phénomène de l'évaporation. — L'évaporation à la surface des eaux dépend de plusieurs causes variables : la nature et la grandeur des vases employés, l'intensité de la chaleur reçue du soleil, et surtout la vitesse et l'humidité du vent.

Aussi les expériences sur l'évaporation conduisent-elles à des résultats très-variables.

En comparant l'étendue des mers et celle des continents, on arrive à cette conclusion théorique que la tranche d'eau évaporée à la surface d'un bassin liquide est toujours supérieure à la hauteur d'eau pluviale reçue directement par ce bassin.

D'après Duleau, l'évaporation à Paris enlèverait une tranche d'eau de 1^m,50 à 1^m,50.

D'après de Prony, à Rome, la hauteur évaporée atteindrait 2^m,56.

Dans les projets rédigés pour la construction du canal de Nantes à Brest et du canal de la Sambre à l'Oise, on a adopté pour valeur de l'évaporation annuelle 1^m,46.

Ce chiffre correspond à une tranche de 0^m,004 par jour. — C'est celui qu'on adopte dans le nord et le centre de la France.

D'après M. Vallès, l'évaporation sur les bords de la Méditerranée française serait de 2^m,50.

D'expériences faites sur le canal de Bourgogne, il résulte que l'évaporation

n'a été en moyenne que de $0^m,0015$ par jour ; c'est un chiffre beaucoup plus faible que celui qu'on admet d'ordinaire.

En 1874 et 1875, l'évaporation mesurée à l'Observatoire de Montsouris a été en nombre rond de 1 mètre.

Généralement on se base sur une évaporation de $0^m,004$ par jour ; du reste, il vaut mieux ne pas séparer la dépense par évaporation de la dépense par imbibition, et évaluer en bloc ces deux causes de consommation.

8° DÉPENSE D'EAU PAR LES FILTRATIONS OU PAR L'IMBIBITION CONTINUE

Autrefois, dit M. Comoy, toutes les pertes par filtration étaient évaluées ensemble au double de la perte par évaporation. — C'était donc une perte totale de $0^m,012$ de hauteur par jour : l'évaluation ainsi faite était absolument hypothétique et devait être généralement trop faible.

L'imbibition dépend essentiellement de la nature du fond et des digues, et ne peut bien être déterminée que par des expériences directes sur chaque canal.

L'absorption paraît plus forte dans les terrains argileux que dans les terrains sablonneux.

De quelques expériences exécutées au canal du Centre, il résulte que : la perte totale par évaporation et imbibition serait par jour d'été de 490 mètres cubes par kilomètre dans les terrains argileux, et de 550 mètres cubes dans les terrains sablonneux.

Gauthey n'avait évalué les pertes totales du canal du Centre qu'à 180 mètres cubes par kilomètre. — On voit qu'il était fort loin de la vérité.

D'après Minard, la perte totale au canal du Midi serait représentée par une tranche d'eau de $0^m,05$ à $0^m,04$ d'épaisseur.

D'autres expériences exécutées au canal du Midi, il résulte que la perte moyenne par mètre courant et par jour a été de $0^{mc},52$ dans les terrains argileux.

La même moyenne a été trouvée sur le canal de la Marne au Rhin, et on a trouvé $0^{mc},46$ sur le canal du Rhône au Rhin.

Dans les terrains sablonneux du canal de la Marne au Rhin, la perte totale a été de $0^{mc},50$.

On peut donc admettre, dit M. Graëff, que la perte moyenne par mètre courant d'un canal ordinaire et par jour, est de :

$0^{mc},49$ dans les terrains argileux,
et de $0^{mc},55$ dans les terrains sablonneux.

Ces chiffres comprennent les pertes dues à l'évaporation, aux filtrations et imbibitions de toute nature.

Dans les parties bétonnées du canal de la Marne au Rhin, les pertes de ce genre sont tombées à une moyenne de $0^{mc},05$ à $0^{mc},08$.

9° DÉPENSE D'EAU DUE AUX FAUSSES MANŒUVRES DES ÉCLUSIERS

« Il est impossible, dit M. Comoy, de rien préciser en général sur l'importance de cette cause de dépense d'eau. Certaines fausses manœuvres sont le résultat de la négligence des agents ; d'autres tiennent à des circonstances matérielles et locales, toutes choses essentiellement variables et qui ne peuvent être déterminées que par des expériences spéciales.

Il faut d'ailleurs remarquer, comme on l'a déjà fait à l'occasion des éclusées supplémentaires, que toute l'eau tirée des réserves pour cette cause de dépense d'eau ne doit pas entrer dans le compte des pertes. Une partie de cette eau est utilisée pour compenser les pertes par évaporation et imbibition.

Au canal du Centre, l'eau réellement perdue par fausses manœuvres peut être évaluée à 4 000 mètres cubes environ par jour ; souvent on a perdu un cube plus fort, et, quand la dépense journalière s'est élevée à 90 000 mètres cubes, les fausses manœuvres occasionnaient sans doute une perte d'environ 20 000 mètres cubes par jour.

Mais ce sont des cas exceptionnels et rares ; ces pertes anormales peuvent disparaître avec des soins plus soutenus et mieux dirigés. Il ne faut pas y avoir égard dans l'évaluation de la dépense d'eau d'un canal.

Il est d'ailleurs certain que les pertes d'eau par fausses manœuvres seront d'autant plus faibles que le régime d'alimentation sera plus facile et plus régulier, que l'on devra faire parcourir une moindre longueur de canal à l'eau destinée à alimenter chacun de ses points. »

Les pertes par fausses manœuvres seront évaluées en bloc avec celles du paragraphe suivant.

10° DÉPENSE D'EAU DUE AUX BATEAUX ÉCHOUÉS ET AUX AVARIES
DES OUVRAGES D'ART

Les échouages de bateaux, les avaries aux ouvrages d'art, sont des causes de dépenses tout à fait accidentelles et plus importantes à cause des entraves qu'elles apportent à la navigation que par la consommation d'eau qu'elles déterminent.

Ces causes exigent que l'on vide, partiellement ou totalement, les biefs où elles se produisent.

Au canal du Centre, M. Comoy comptait 25 à 50 bateaux échoués par an. Cela consommait 500 000 à 400 000 mètres cubes par an ; les avaries faisaient perdre en outre 100 000 mètres cubes.

Cela faisait une dépense totale de 2 000 mètres cubes par jour, sur lesquels il ne faut compter que la moitié, soit 1 000 mètres cubes, de perdus réellement.

Autrefois, le bief de partage n'était pas isolé de l'étang de Montchanin qu'il traverse ; la navigation était assez périlleuse, et plusieurs échouages se produisaient tous les ans. — Il en résultait à chaque fois une perte considérable, car il fallait vider l'étang, qui contient 560 000 mètres cubes.

On tiendra un compte suffisamment exact des pertes d'eau produites par les fausses manœuvres, par les échouages et par les avaries, en les évaluant à $0^{\text{m}},04$ par mètre courant de canal et par jour.

RÉSUMÉ : DÉPENSE D'EAU TOTALE

Les pertes d'eau totales, à l'exception de celles dues au passage des bateaux, peuvent être évaluées à :

$0^{\text{m}},40$	par mètre de canal et par jour dans les terrains sablonneux.
$0^{\text{m}},60$	— argileux.
$0^{\text{m}},10$ à $0^{\text{m}},15$	— dans les parties bétonnées.

« C'est là, dit M. Graëff dans son remarquable ouvrage sur le canal de la Marne au Rhin, l'état normal auquel devra parvenir en peu d'années un canal convenablement étanché ; mais jusque-là il faut fournir plus d'eau, et nous pensons qu'en adoptant dans un avant-projet le chiffre de consommation moyen de 1 mètre cube par mètre courant et par 24 heures, on sera en général dans le vrai quant à ces premiers besoins, et l'on aura par conséquent plus de ressources qu'il n'en faudra plus tard pour l'alimentation normale. »

A ce chiffre, il faudrait ajouter la consommation due au passage des bateaux, à la différence de capacité des écluses et à l'affluence des bateaux dans les biefs courts.

« Nous pensons, conclut M. Graëff, qu'en adoptant le chiffre de $1^{\text{m}},20$ à $1^{\text{m}},50$ par mètre courant de canal et par 24 heures pour la consommation totale, en tant qu'il ne s'agit que des versants et non du bief de partage, on ne risquera jamais de se tromper. — Pour les biefs de partage, il est toujours prudent, dans un avant-projet, de calculer tout au maximum, les pertes et la dépense due au passage des bateaux. »

II. Moyens d'alimentation des canaux

Nous venons de donner les moyens de calculer la dépense d'eau dans les diverses sections d'un canal ; il nous reste, pour avoir résolu le problème de l'alimentation, à indiquer les moyens par lesquels on fournira à chaque section un volume d'eau égal à celui qu'elle dépense.

Cette question ne peut être traitée par une méthode générale ; la solution dépend surtout des circonstances locales. Il convient néanmoins, avant de passer aux exemples de mettre en lumière quelques principes dont on ne doit pas se départir.

Position la plus avantageuse pour le bief de partage. — La position la plus avantageuse pour le bief de partage est celle qui permet d'y amener le plus grand volume d'eau. C'est évidemment presque toujours celle qui occupe

le col le plus bas de la chaîne de montagne à traverser, car c'est là qu'on peut recueillir et concentrer les eaux tombées sur une plus grande superficie de terrain.

On trouve en outre l'avantage d'avoir moins d'écluses à construire sur chaque versant.

Lors donc qu'on ne veut pas recourir à un souterrain pour le passage de la ligne de faite, il faut s'attacher à la couper au col le moins élevé. Quand le passage se fait en souterrain, la condition n'est plus la même; à altitude égale, on recherchera le tracé qui donne entre les deux versants la moindre longueur horizontale, c'est-à-dire le plus court souterrain.

Mais, en réalité, ce qui importe avant tout, c'est d'assurer l'alimentation et non d'économiser sur la dépense : c'est donc la hauteur des eaux suffisantes qui tranche la question du tracé, et l'on se trouve nécessairement conduit à rechercher la moindre altitude.

On la reconnaît par un nivellement, mais on peut aussi la désigner à l'avance d'une manière presque certaine à la seule inspection des cartes, ainsi que nous l'avons indiqué déjà en parlant du tracé des routes.

1^o Lorsque deux cours d'eau, situés chacun d'un côté du faite, coulant de chaque côté à peu près parallèlement à ce faite, viennent à se détourner pour couler en sens opposé, une dépression correspond au point de divergence ;

2^o Lorsque deux cours d'eau, situés chacun d'un côté du faite, coulent dans des directions parallèles mais opposées, on trouve une dépression au point qui correspond à l'origine de ces deux cours d'eau ;

3^o Lorsqu'une source ou un étang, situés sur la ligne de faite, s'épanchent sur les deux versants de la chaîne, cette source ou cet étang correspondent à un passage de moindre altitude.

Les réserves d'eau ne doivent pas être accumulées au bief de partage.

— Les anciens ingénieurs, et Gauthey lui-même, le plus remarquable d'entre eux, faisant passer avant toutes les autres causes de consommation celle qui est due au passage des bateaux, cherchaient à accumuler au bief de partage toutes les eaux disponibles.

Ce système d'accumulation des réserves au point de partage a les plus graves inconvénients. On s'est trop préoccupé, dit M. Comoy, dans la théorie admise pour l'établissement des canaux, de la dépense d'eau occasionnée par le passage des bateaux; cette dépense, avec la navigation la plus active, ne peut guère dépasser au canal du Centre 25 000 mètres cubes par jour et souvent la dépense totale du canal par jour va jusqu'à 90,000 mètres cubes. — Les autres causes de dépense d'eau agissent sur toute la longueur du canal; il est donc peu rationnel de placer au point de partage l'eau qui doit être en grande partie utilisée loin de ce point.

Les réserves d'eau doivent donc être réparties sur le bief de partage et les versants, en les disposant convenablement selon les besoins.

Lorsqu'il n'en est pas ainsi, il faut alimenter tous les biefs avec de l'eau tirée du bief de partage; lorsque cette eau doit passer par les ventelles des écluses, ces ventelles doivent être levées à chaque instant de manière à satisfaire aux besoins de la section d'aval; mais ces besoins eux-mêmes sont variables, et il faudrait que les éclusiers fussent à chaque instant avertis pour modifier en conséquence l'émission de l'eau, chose impossible; l'alimentation se trouve du reste interrompue par la navigation. Il arrive alors que certains biefs reçoivent trop d'eau, alors que d'autres biefs, appauvris outre mesure,

ne présentent plus aux bateaux un mouillage suffisant. On ne peut arriver à combattre ces inconvénients qu'en disposant un système spécial d'alimentation indépendant des écluses.

Pendant un tirament d'eau de l'amont vers l'aval, si deux bateaux à fort tirant d'eau se croisent lentement, ils obstruent presque toute la section, et forment barrage pendant un temps assez long pour que le niveau d'aval s'abaisse au point de faire talonner les bateaux. Il faut alors courir à l'écluse d'aval pour faire fermer complètement les ventelles.

Ces inconvénients, produits par le trop grand espacement des prises d'eau, avaient été signalés par M. Michel Chevalier dans son *histoire des travaux des Etats-Unis*. On éprouvait beaucoup de peine à alimenter une partie du canal Erié de 256 kilomètres de longueur, qui tirait entièrement ses eaux du lac Erié, bien que cette partie du canal eût une pente de 0^m,016 par kilomètre. D'autres canaux, latéraux à des rivières de Pensylvanie, étaient dans le même cas. « Il semblait que l'alimentation de ces canaux ne dût être d'aucune difficulté. Il n'en a cependant pas été ainsi ; même sous ce rapport on a éprouvé de graves mécomptes. Lorsque le commerce est devenu actif, l'eau a manqué sur plusieurs points, parce que dans ces canaux étroits et sans pente, lorsqu'ils se trouvent obstrués par les bateaux, l'eau ne peut arriver assez vite aux derniers biefs de chaque division pour subvenir à la consommation des écluses et réparer les pertes causées par l'évaporation et l'infiltration. »

Les mêmes défauts se manifestent lorsque les eaux destinées à alimenter une section doivent parcourir une longue tranchée étroite, dans laquelle on n'a ménagé que le passage d'un bateau. Lorsqu'un bateau est engagé dans la tranchée, il interrompt en grande partie l'écoulement pendant le temps qu'il met à parcourir la tranchée et les biefs d'aval peuvent tomber à sec. Il faut donc créer une prise d'eau spéciale à l'aval ou bien établir une conduite d'eau spéciale latéralement à la tranchée.

De ces explications résulte le principe suivant :

Il faut placer les réserves de manière que l'eau ait la moins grande longueur possible de canal à parcourir pour arriver au point où elle est utile. »

On parvient, dit M. Comoy, à remplir cette condition en séparant les biefs d'un canal par groupes alimentés et établis de telle sorte :

1° Que l'amont de chaque groupe corresponde à des localités qui permettent la création de réservoirs spéciaux de capacité suffisante ;

2° Que la quantité d'eau à fournir à l'amont de chaque groupe ne soit pas assez forte pour gêner la navigation.

Dans le cas où l'on aurait à redouter une trop grande gêne pour la navigation, il faudrait créer le long du canal un aqueduc destiné à alimenter tous les biefs d'un groupe.

Les calculs doivent être basés sur la saison la plus sèche et non sur une moyenne. — Dans ses calculs relatifs à l'alimentation du canal du Centre, Gauthey s'était basé sur le débit moyen des cours d'eau qu'il détournait pour amener au bief de partage. Or, la considération du débit moyen n'est admissible qu'autant qu'on emmagasine chaque jour ce qui dépasse ce débit moyen, de manière à employer cette réserve pour combler le déficit lorsque le débit réel tombera au-dessous de la valeur moyenne.

Ce n'était pas le cas au canal du Centre ; aussi éprouva-t-on dès les premières années d'exploitation de graves mécomptes.

« Avec les rigoles pérennes, dit M. Comoy, on pensait utiliser tout le pro-

duit donné par les jauges moyennes, et c'est là l'erreur fondamentale des calculs de Gauthey. Il est de la dernière évidence que l'eau utile est limitée par le nombre de bateaux que l'on peut faire passer chaque jour aux deux écluses du bief de partage. Toute l'eau que les rigoles amenaient dans le bief de partage au delà de ce cube utile ne pouvait que gêner la navigation; et nul moyen de la conserver pour la saison sèche n'ayant été ménagé, ce cube excédant ne doit pas compter dans les ressources dont on pouvait user pour alimenter le canal. »

Les prises d'eau rapprochées nuisent moins aux usines. — Lorsque l'on pratique des prises d'eau sur une rivière, il importe de les multiplier, d'abord pour obtenir une alimentation du canal plus régulière et plus facile, ensuite pour causer aux usines le moindre dommage possible.

Si une prise d'eau unique, débitant un volume d'eau Q , coûte une somme p à établir, et qu'elle cause un dommage moyen D aux m usines situées à l'aval, cette prise d'eau correspondra à une dépense ... $(p + m. D)$.

Divisons cette prise d'eau en deux autres, débitant ensemble le même volume total Q , coûtant une somme (p') à établir, et comprenant entre elles n usines; ces n usines subiront chacune un dommage moyen d , moindre que dans le cas précédent, puisqu'on leur enlève moins d'eau; les $(m-n)$ autres usines subiront le même dommage D que tout à l'heure, puisqu'elles perdent le même cube d'eau; le nouveau système d'alimentation correspondra donc à une dépense

$$p' + nd + (m - n) D$$

Égalant les deux dépenses totales, on trouve

$$p' - p = n(D - d).$$

Lorsque cette égalité sera vérifiée, il sera indifférent, au point de vue de la dépense totale, d'adopter une ou deux prises d'eau; suivant que $(p' - p)$ sera plus grand ou plus petit que

$$n(D - d),$$

il y aura inconvénient ou avantage à séparer en deux la prise d'eau unique.

En général, à moins qu'il n'y ait lieu d'établir de longues rigoles de prise d'eau, il y aura grand avantage à les multiplier; car, dit M. Graëff, « ces prises d'eau ne coûtent pas cher, et l'on fait aux usines le minimum de dommages en somme; tandis que, si l'on prenait en tête et d'un seul coup toutes les eaux que ces prises d'eau ne prennent que successivement, et pour ainsi dire en détail, toutes les usines supporteraient le maximum de dommage. »

Tels sont les seuls principes généraux que nous ayons à exposer; les questions de détail s'éclairciront par les exemples qui vont suivre.

1° ALIMENTATION DU CANAL DU CENTRE

Les projets du canal du Centre ont été rédigés par Gauthey, et on trouvera tous les calculs relatifs à l'alimentation dans ses mémoires publiés par Navier.

L'alimentation de ce canal était des plus défectueuses ; elle a été peu à peu perfectionnée, si bien que le canal du Centre est aujourd'hui une de nos bonnes voies navigables.

Les figures de la planche XXIX en donnent le plan et le profil en long ; le plan représente l'état des lieux en 1840, aussi ne porte-t-il pas quelques-uns des réservoirs créés depuis, notamment le réservoir de Montaubry, qui se trouverait sur la carte entre Saint-Julien et l'étang de Torcy.

M. l'ingénieur Comoy, dans un mémoire publié en 1841, a examiné en détail l'alimentation du canal du Centre, et a proposé les moyens de l'améliorer. Nous allons rappeler ici les principaux traits de ce mémoire.

État du canal en 1841. — Les réservoirs voisins du bief de partage contenaient 7.610.647 mètres cubes.

Le chômage annuel durait 80 jours ; les eaux naturelles suffisaient à l'alimentation pendant 160 jours en moyenne et 150 jours au minimum ; les réservoirs venaient donc au secours des eaux naturelles pendant 125 jours en moyenne, et 155 au maximum, et fournissaient pendant ce temps 30.000 mètres cubes par jour en moyenne et 40.000 mètres cubes au maximum.

Le remplissage du canal après le chômage absorbait en outre un volume de un million à dix-huit cent mille mètres cubes.

Les réserves étaient donc suffisantes pour parer aux besoins, la quantité d'eau à tirer des étangs n'absorbant pas plus de cinq millions de mètres cubes.

Mais une navigation interrompue chaque année pendant 80 jours ne pouvait plus suffire aux exigences du commerce, et il fallut chercher à établir une navigation continue.

Pendant les 80 jours de chômage, il fallait, pour maintenir la navigation, 70.000 mètres cubes d'eau par jour, soit environ six millions de mètres cubes à tirer de nouvelles réserves qu'il s'agissait de créer.

Le système d'alimentation établi par Gauthey était des plus simples ; il se composait des trois rigoles de Marigny, de Torcy et de Saint-Julien, de 35.000 mètres de longueur totale, amenant au bief de partage les eaux pérennes de plusieurs ruisseaux ; ces rigoles traversaient chacune un étang de dépôt ; ces étangs renfermaient une certaine réserve utilisable, sauf celui de Torcy, à cause de la navigation établie sur la rigole de ce nom. Il existait en outre quelques autres réservoirs, les uns à la tête des rigoles, les autres vers Longpendu et Montchanin, renfermant en tout 1.560.000 mètres cubes.

Sept autres prises d'eau pérennes étaient établies sur les versants ; mais les réserves du bief de partage devaient suffire à la consommation due au passage des bateaux et aux pertes continues sur 11 kilomètres de canal.

Avec ces dispositions la navigation devenait impossible dès que les eaux abondantes d'hiver étaient écoulées, et, à partir du mois de mai, la navigation ne continuait que par convois intermittents : on attendait assez longtemps pour

accumuler au bief de partage un volume d'eau suffisant au passage d'un convoi ; la navigation continue ne pouvait reprendre qu'après les pluies d'automne, à la fin d'octobre.

Les mécomptes éprouvés tenaient à ce que Gauthey s'était basé sur la jauge moyenne des ruisseaux alimentaires, ce en quoi il s'était trompé, puisqu'il n'avait pas prévu les moyens d'emmagasiner l'excès d'eau des saisons pluvieuses ; avec un cube total qui aurait pu alimenter une navigation convenable, on n'arrivait donc qu'à de mauvais résultats.

Les rigoles étaient donc inutiles pendant l'été ; celle de Saint-Julien fut presque aussitôt abandonnée ; celle de Marigny ne fut entretenue que jusqu'en 1818 pour conduire au bief de partage les eaux de quelques petits étangs ; la seule rigole de Torcy fut conservée parce qu'elle amenait les eaux de deux grands étangs.

La création de l'étang de Torcy, en 1800, l'acquisition de quatre petits étangs de la forêt d'Avoise, en 1804, l'exhaussement de 2 mètres de l'étang Berthaud, en 1809, l'acquisition de l'étang Ledue, en 1821, l'exhaussement de 4 mètres de l'étang de Torcy, en 1826, portèrent successivement le volume des réserves à 5.405.000 mètres cubes.

L'isolement du bief de partage qui traversait l'étang de Montchanin, l'agrandissement de l'étang Berthaud amenèrent, en 1855, le volume des réserves à 7.610.647 mètres cubes.

En même temps on avait abandonné, sur les versants, divers étangs de faible capacité et d'entretien coûteux, et on avait augmenté les prises d'eau pérennes ; on en avait aussi changé la disposition, de manière à avoir sur le versant de la Loire 8 prises d'eau débitant au maximum 10.500 mètres cubes par 24 heures, et sur le versant de la Saône 6 prises d'eau débitant au maximum 19.300 mètres cubes.

Ces augmentations successives avaient permis de rétablir et de maintenir, jusqu'à l'époque du chômage, et d'une manière satisfaisante, la navigation continue et de supprimer les convois. Le seul inconvénient sérieux qu'on rencontrait tenait à la grande longueur que certaines prises d'eau avaient à alimenter ; dans certaines séries de biefs courts il fallait, en été, pour assurer l'alimentation d'aval, interrompre la navigation trois à quatre heures par jour. De même, la tranchée de Chagny, qui avait 1200 mètres de longueur et une seule largeur de bateau, ne pouvait alimenter la partie d'aval qu'autant qu'aucun bateau n'y était engagé ; il fallait donc encore interrompre la navigation pendant un certain temps.

Ces deux causes réunies retardaient énormément la marche des bateaux pendant la saison des basses eaux.

La navigation dans les six premiers biefs du versant de la Saône, qui n'ont que 100 mètres de longueur, a été bien améliorée par la construction d'une rigole latérale destinée à assurer une alimentation régulière ; cette rigole, après avoir alimenté les six biefs, jetait le surplus de ses eaux dans un réservoir destiné à l'alimentation de la section d'aval.

Sur le versant de la Loire, les prises d'eau étaient assez abondantes, la navigation se faisait surtout vers l'amont, circonstance très-favorable à l'alimentation, ainsi que nous l'avons vu ; aussi la navigation était-elle facile. Mais, il n'en a plus été de même lorsqu'on a exécuté, en 1857, la rigole de jonction du canal du Centre au canal latéral à la Loire, rigole creusée sur 5 kilomètres dans des terrains très-sablonneux ; cette rigole perdait, par filtration, 12.000

mètres cubes par jour, et il fallait tirer tout ce volume de la section d'amont, ce qui était une grande gêne en même temps qu'une cause d'appauvrissement.

C'est une gêne d'autant plus sérieuse que le tirage d'eau est nécessairement variable et que, sur les grands biefs il est très-longtemps à se faire sentir de l'aval à l'amont. Ainsi, dans un bief de 1900 mètres de longueur et de 1^m,50 de mouillage, on ouvrit à l'aval une ventelle débitant 1 mètre cube à la seconde; l'eau ne commença à baisser à l'écluse d'amont que 9 minutes après, et il s'est fait un abaissement brusque de 0^m,05, qui persista pendant 9 autres minutes; une demi heure après le commencement du tirage d'eau, l'abaissement était de 0^m,08. L'éclusier d'amont ne pouvait donc être averti qu'il devait lever ses vannes que vingt minutes après le commencement du tirage d'eau, d'où une grande lenteur dans la transmission et dans la régularisation des eaux.

Les calculs de M. Comoy sur les consommations d'eau lui montraient que, pour obtenir une navigation continue, il fallait tirer 76.000 mètres cubes par jour des réserves, pendant la durée des faibles eaux, durée qui est de 120 jours au maximum, qu'il fallait en tirer 50.000 mètres cubes par jour pendant la durée des eaux moyennes, qui est de 85 jours. Pendant les 160 jours d'eaux abondantes, il fallait donc emmagasiner les réserves nécessaires à la consommation des deux autres périodes.

Les réserves du bief de partage paraissaient suffisantes; aussi M. Comoy proposait-il de créer des réservoirs contenant

2 millions de mètres cubes sur le versant de la Saône,
et 2 millions et demi de mètres cubes sur le versant de la Loire.

Sur le versant de la Saône, deux réservoirs à construire à Rully et à Perreuil étaient suffisants; sur le versant de la Loire, on pouvait obtenir le volume nécessaire au moyen d'une dérivation de l'Arroux, ou bien en créant trois réservoirs dans l'ancien étang de Colayot, dans la vallée du ruisseau de Theilly, et dans la vallée de la Limasse.

État actuel du canal du Centre. — Les tranchées à voie étroite ne règnent plus aujourd'hui que sur 5600 mètres de longueur et sont appelées à disparaître.

Le mouillage varie de 1^m,55 à 1^m,80, suivant les biefs et la saison, et on tend à obtenir d'une manière régulière et continue la cote 1^m,80.

Les rapports de M. Krantz sur l'état de nos voies navigables renferment les renseignements suivants relatifs à l'alimentation du canal du Centre :

Les chômages provoqués par le manque d'eau, ou la nécessité de réparer les ouvrages, ont peu d'importance sur le canal du Centre; on est même arrivé à ce point qu'en certaines années on peut se dispenser d'en établir.

Il n'en est pas de même des chômages dus aux glaces; leur moyenne annuelle, pendant les vingt dernières années, n'a pas été de moins d'un mois.

L'alimentation du canal du Centre est assurée :

1° Par dix-sept prises d'eau établies, à savoir : sept sur le versant de la Saône, et dix sur le versant de la Loire.

2° Par quatorze réservoirs, dont la contenance est d'environ quatorze millions de mètres cubes. Treize d'entre eux, puissamment approvisionnés, renouvellent leurs eaux pendant l'année; il n'en est pas de même du plus considé-

nable de tous, celui de Montaubry, qui pourrait contenir cinq millions de mètres cubes, et qui jusqu'à présent n'a pas été rempli.

Cette circonstance tient-elle à la période de sécheresse exceptionnelle que nous venons de traverser, ou à une réelle disproportion entre la capacité du réservoir et les ressources du bassin qui l'alimente? L'avenir le dira.

5° Par deux dépôts d'emmagasinement qui récoltent le trop-plein des écoulements du canal et le mettent en réserve.

Cette situation est bonne sans être parfaite; on l'améliorera en isolant du canal les dépôts d'emmagasinement. Divers projets, dressés dans ce but, ont déjà été approuvés; il convient d'y donner suite, comme aussi de poursuivre jusqu'au bout le travail d'étanchement, sans lequel les approvisionnements d'eau pourraient toujours, à un moment donné, rester insuffisants.

2° ALIMENTATION DU CANAL DE BOURGOGNE

La planche XXX donne un plan général sur lequel sont indiqués les moyens d'alimentation du canal de Bourgogne.

Ces moyens consistent en :

1° Cinq réservoirs présentant une capacité utile d'environ 28 millions de mètres cubes;

2° Vingt prises d'eau naturelles pouvant amener au canal 150.000 mètres cubes d'eau par 24 heures.

Les inconvénients inhérents à l'accumulation des réserves au bief de partage se sont pendant longtemps manifestés avec autant d'énergie au canal de Bourgogne qu'au canal du Centre; sur le versant de la Seine, il était facile de porter remède à cet état de choses en créant des prises d'eau supplémentaires dans les affluents de l'Yonne, tels que l'Armançon.

Sur le versant de la Loire, les versants inférieurs non étanchés étaient autrefois très-perméables; les emprunts à la rivière d'Ouche ne suffisaient pas à compenser les pertes dues à l'évaporation et aux filtrations; il fallait à certaines époques tirer jusqu'à 150.000 mètres cubes d'eau par 24 heures des réservoirs supérieurs situés à 50 kilomètres de là. Un pareil tirement d'eau déterminait dans le canal un courant qui interrompait la navigation et qui, dans les parties rétrécies comme sous les ponts, s'opposait absolument à la remonte des bateaux.

Les étanchements effectués au voisinage de Dijon ont atténué ces inconvénients. Les cinq réservoirs voisins du bief sont :

Versant de l'Yonne. . .	{	1° Réservoir de Grosbois, d'une capacité de.	8.600.000	mèt. cubes.
		2° — Cercey, —	3.500.000	—
		3° Réservoir de Chazilly, —	5.500.000	—
Versant de la Saône. . .	{	4° — Tillot, —	600.000	—
		5° — Panthier, —	8.000.000	—
Capacité totale.			26.200.000	—

Les réservoirs de Grosbois et de Cercey envoient leurs eaux par des rigoles à l'extrémité du bief de partage, côté de l'Yonne. Le réservoir de Grosbois se trouve dans la vallée de la Brenne; la rigole qui le dessert n'arrive dans la

vallée de l'Armançon qu'après avoir traversé le faite par un souterrain de 5 kilomètres de longueur. Le réservoir de Cercey se trouve dans une gorge peu étendue, aussi a-t-il fallu créer un grand développement de rigoles pour aller recueillir les eaux de plusieurs vallons situés en aval.

Sur le versant de la Saône, les réservoirs de Chazilly et de Panthier sont aussi alimentés par des rigoles tracées à flanc de coteau.

Le réservoir de Chazilly verse ses eaux dans le réservoir inférieur de Tillot, d'où elles se rendent à l'extrémité du bief de partage, côté de la Saône ; la prise d'eau du réservoir de Panthier ne se trouve qu'entre la neuvième et la dixième écluse du versant.

La construction de ces réservoirs a donné lieu à des travaux fort intéressants, sur lesquels nous aurons lieu de revenir ultérieurement.

5^e ALIMENTATION DU CANAL DU NIVERNAIS

Le canal du Nivernais fut commencé en 1784 dans le but de favoriser l'arrivée à Paris des bois des forêts établies sur le versant de la Loire ; projeté d'abord comme rigole de flottage, il fut ensuite transformé en canal de navigation. Le bief de partage est établi en partie en souterrain ; c'est le souterrain de la Colancelle dont M. l'ingénieur Charié-Marsaines a décrit les travaux dans un mémoire inséré aux *Annales des ponts et chaussées* de 1848.

Le canal étant destiné à établir une communication entre la Loire et la Seine, au moyen de l'Aron et de l'Yonne, affluents de ces deux fleuves, on a choisi pour l'emplacement du bief de partage un point où les ruisseaux qui tombent dans ces deux cours d'eau se trouvent excessivement rapprochés, et où il existait, depuis une époque fort reculée, de vastes étangs propres à servir de réservoirs. Ce point se trouve près du village de la Colancelle : les deux affluents dont il s'agit sont : d'une part, le ruisseau de la Colancelle, qui a son origine dans l'Étang-Neuf ; de l'autre, le ruisseau de Baye, qui prend sa source à l'étang du même nom. Pour réunir ces deux ruisseaux, on a percé sous la ligne de faite le souterrain de la Colancelle. Le plan général, figure 2, planche XXXI, indique les dispositions du bief de partage.

L'alimentation du canal du Nivernais est obtenue par quatre réservoirs dont la contenance totale est de 7.500.000 mètres cubes et par plusieurs prises d'eau dans l'Yonne, le Beuvron et l'Aron. Le mouillage normal est de 4^m,50, mais il se réduit notablement dans les années sèches ; les biefs établis dans la rivière d'Yonne ont un mouillage très-variable qui tombe à 0^m,55 en certains cas. La navigation souffre beaucoup de cet état de choses, et, pour assurer une alimentation convenable, il y a encore trois millions de travaux à exécuter.

Cependant l'alimentation a été déjà bien améliorée avant 1850 par la rigole dérivée de l'Yonne supérieure, rigole qui amène les eaux à Port-Brûlé, à la sortie du bief de partage côté de la Seine.

Dans les calculs relatifs à l'alimentation que faisait, en 1851, M. l'ingénieur Charié-Marsaines, il estimait que deux bateaux passaient du versant de la Loire sur le versant de la Seine pour un passant en sens inverse ; il comptait sur un passage de dix bateaux par jour, et, à cause des trois écluses accolées qu'on trouve sur le versant de la Loire, il trouvait pour la dépense d'eau moyenne d'un bateau un volume de 1585 mètres cubes, soit une consomma-

tion diurne de 15.850 mètres cubes pendant chacun des 500 jours de navigation.

Les autres causes de perte ou causes permanentes, telles que l'évaporation et les filtrations, dans le bief de partage et dans les deux portions des versants qu'il alimente, étaient évaluées à une moyenne de 59.255 mètres cubes — c'était donc une consommation totale de 55.000 mètres cubes par 24 heures.

Les étangs et le ruisseau de la Colancelle cumulés ne pouvaient donner qu'un débit moyen de 56.000 mètres cubes par jour de navigation ; encore fallait-il pouvoir emmagasiner dans les réservoirs tout le produit de la saison pluvieuse.

Il y avait donc insuffisance manifeste dans l'alimentation, et il fallait recourir à une rigole dérivée soit de l'Aron, soit de l'Yonne ; la rigole de l'Aron donnait un trop faible produit et nuisait beaucoup aux usines ; on préféra une rigole qui était supposée pouvoir emprunter à l'Yonne, pendant cinq mois de l'année, un débit de 1 mètre cube à la seconde, soit en tout près de 15 millions de mètres cubes ; mais l'emprunt se faisait pendant les mois humides, et il eût fallu, pour en assurer l'emploi efficace, construire des réservoirs capables de le contenir et de le ménager pour la saison sèche, ce qui n'a pas été fait alors.

La rigole est représentée par un trait noir plein sur le plan général de la planche XXXI : elle a environ 28 kilomètres de longueur, avec une pente moyenne de 0^m,40 par kilomètre ; la section a été calculée de manière à pouvoir débiter 1^m,25 par seconde, afin que l'on fût assuré, malgré l'évaporation et les filtrations, d'obtenir un débit de 1 mètre au débouché dans le canal. Nous n'insisterons pas sur ces calculs de dimensions de rigoles devant débiter un cube déterminé avec une pente donnée ; nous avons donné en *hydraulique* des exemples de ces calculs qui sont du reste fort simples.

La rigole dérivée de l'Yonne rencontrant deux vallées profondes, on a établi au passage de ces vallées des ponts-aqueducs que nous aurons l'occasion de décrire dans la suite, mais qui seraient aujourd'hui très-probablement remplacés par des siphons métalliques.

4^e ALIMENTATION DU CANAL DE LA MARNE AU RHIN (TRAVERSÉE DES VOSGES)

La dernière section, vers l'est, du canal de la Marne au Rhin forme à elle seule un canal à point de partage, le canal de la Meurthe au Rhin, qui traverse les Vosges au col d'Arschwiller, le point le plus déprimé de la ligne de faite ; le canal et le chemin de fer de Strasbourg ont du reste le même point de passage et sont presque juxtaposés jusqu'à Strasbourg.

M. Graëff, aujourd'hui inspecteur général des ponts et chaussées, a décrit dans divers mémoires les travaux du bief de partage des Vosges et de la branche du Rhin ; son livre intitulé : *Construction des canaux et des chemins de fer*, est rempli de détails techniques et de données pratiques aussi utiles qu'intéressants. C'est lui que nous prendrons pour guide dans cette étude. La figure 4 de la planche XXXI représente le bief de partage des Vosges, et la figure 5 de la planche XXVIII donne la coupe du canal et de ses digues dans la traversée de l'étang de Gondrexange.

Le bief de partage, « à raison de sa longueur de 29.479 mètres et de la richesse de son alimentation, est certainement l'un des plus beaux biefs de par-

tage que l'on rencontre sur les canaux français. » La branche de la Meurthe à 56.000 mètres de longueur et celle du Rhin 59.522 mètres. — Sur le versant de la Meurthe, la première prise d'eau est à 2457 mètres, la seconde à 3157 mètres et la troisième à 44.100 mètres du bief de partage; les deux premières sont alimentées par l'étang de Réchicourt, et la troisième par la rigole de Dombasle, dérivée de la Meurthe. Les prises d'eau de Réchicourt ne fonctionnant pas toute l'année, il arrive que le bief de partage doit seul alimenter les 44 premiers kilomètres.

La première prise d'eau sur le versant du Rhin est à 5952 mètres du bief de partage; elle est dérivée de la Zorn, ainsi que trois autres rigoles convenablement espacées; la branche du Rhin est donc parfaitement alimentée. Les 5952 mètres qu'alimente le bief de partage forment les 18 biefs composant la descente d'Arschwiller; cette partie est étanchée et bétonnée, elle ne perd pas plus de 0^m,05 à 0^m,08 par mètre courant et par 24 heures; on peut donc dire que le tirage d'eau du bief de partage se réduit de ce côté à ce qu'exige le passage des bateaux.

Brisson avait projeté le canal de la Meurthe au Rhin à peu près dans les conditions où il a été exécuté; cependant, pour obéir aux idées du temps, il avait cherché à accumuler les réserves au point de partage, bien qu'il eût soupçonné la nécessité de multiplier les prises d'eau et de faire parcourir à l'eau le moindre chemin possible avant son emploi.

Les jaugeages journaliers exécutés pendant trois ans sur la Sarre et la Bièvre ont démontré qu'à son plus bas étiage la Sarre donnait 80.000 mètres cubes et la Bièvre 22.000 mètres cubes en 24 heures. La retenue de l'étang de Gondrexange étant primitivement à la cote 266 et le plein d'eau du bief de partage à la cote 265, on disposait en outre, comme réserve, du volume d'eau contenu dans une tranche de 1 mètre de hauteur sur une superficie de 475 hectares; c'était une réserve d'environ 4 millions de mètres cubes.

Les expériences effectuées après l'étanchement du bief de partage ont montré que les dépenses d'eau de toute nature, par évaporation, filtration, imbibition, fausses manœuvres et par les portes d'écluse, ne dépassaient pas 0^m,50 par mètre courant et par 24 heures.

Pour tenir compte des imperfections premières, on doubla ce chiffre et on compta sur une perte totale de 0^m,60; le bief de partage était supposé devoir alimenter les 23 premiers kilomètres du versant de la Meurthe jusqu'à une prise d'eau à pratiquer dans la vallée du Sanon, de sorte que la perte totale diurne du bief de partage et des sections alimentées par lui s'établissait comme il suit :

Pertes sur le versant de la Meurthe, 23.000 mètres à 0 ^m ,60.	15.000 m. c.
Pertes du bief de partage, 29.479 mètres à 0 ^m ,60.	17.000 —
Consommation maxima des bateaux, au plus 45 passages par jour à deux éclusées de 500 mètres cubes chacune.	45.000 —
Pertes de la descente d'Arschwiller non étanchée, 4000 mètres à 1 m. c.	4.000 —
Pertes dues à l'affluence des bateaux dans les biefs courts de cette descente.	11.000 —
	<hr/>
Consommation totale.	90.000 —

Ainsi le maximum du volume à prendre au bief de partage était de 90.000 mètres cubes par jour, et, aussitôt l'étanchement de ce bief effectué, ce volume devait nécessairement descendre à 80.000 mètres cubes.

Pour satisfaire à cette dépense, on avait la rigole de la Sarre qui donnait 80.000 mètres cubes au plus bas étiage; admettant quatre mois de cet étiage, la réserve de l'étang de Gondrexange fournissait pendant ce temps 12.000 mètres cubes par jour et celle de l'étang de Réchicourt 5000 mètres cubes. On avait donc 95.000 mètres cubes disponibles, c'est-à-dire plus qu'il ne fallait.

Mais cette disposition avait l'inconvénient de prendre toute l'eau de la Sarre en étiage et d'annihiler de nombreuses et importantes usines; il fut décidé que l'alimentation serait basée sur l'étang de Gondrexange convenablement exhaussé, et qu'on ne tirerait de l'eau de la Sarre que lorsque le volume de cette rivière dépasserait les besoins des usines.

On résolut alors de relever de 0^m,50 les digues de l'étang, de manière à obtenir une réserve de 1^m,50 de hauteur cubant 6 millions de mètres cubes; cette réserve se renouvelle plusieurs fois dans l'année, et l'étang peut en grande partie alimenter le canal en hiver en gardant sa réserve complète pour la saison d'étiage. En effet, pendant l'année 1855, avant l'exhaussement des digues, l'étang avait déjà fourni au canal plus de 14 millions de mètres cubes.

D'un autre côté, une longue série de jaugeages des eaux de la Sarre avait montré qu'on pouvait prendre annuellement à cette rivière près de 10 millions de mètres cubes, représentant l'excédant des besoins des usines. Un déchargeoir de fond établi dans le bief de partage près de l'écluse n° 1 permettait d'envoyer cette eau directement dans la branche de la Meurthe et dans l'étang de Réchicourt.

Les expériences après la mise en eau ont permis d'établir plus exactement la consommation du bief de partage, dont voici le détail :

Passage de 20 bateaux par jour, à deux éclusées par bateau.	20.000 m. c.
Pertes du versant de la Meurthe jusqu'à la rigole de Dombasle.	30.000 —
Pertes du bief de partage.	5.600 —
Pertes de la rigole de la Sarre.	500 —
Eaux évacuées par les déversoirs en cas d'orage.	1.000 —
Pertes de la descente d'Arschwiller.	200 —
Pertes dues à l'affluence des bateaux dans cette descente à biefs courts.	4.000 —
Total en nombre rond.	62.000 —

En admettant même que la navigation prenne un essor inespéré et qu'il passe 58 bateaux par jour, on voit que la consommation atteint à peine 80.000 mètres cubes.

La rigole alimentaire, indiquée sur le plan, prend d'abord les eaux de la Sarre blanche, puis celles de la Sarre rouge; on ne doit se servir de cette rigole que lorsque le débit total de la Sarre est supérieur à 140.000 mètres cubes, parce que ce qui dépasse ce chiffre est inutile aux usines. En se basant sur des jaugeages minutieux, on a trouvé que la rigole de la Sarre pouvait emmener annuellement 24 millions de mètres cubes.

Or, une consommation diurne de 80.000 mètres cubes représente par an un volume de 29.200.000 mètres cubes. Mais, pendant 175 jours de l'année, on ne peut rien demander à la Sarre, à cause de la faiblesse de ses eaux; il faudra donc alimenter uniquement pendant ce temps avec les réservoirs qui, à raison de 80.000 mètres par jour, devront contenir 14 millions de mètres cubes.

Pendant le reste de l'année, la rigole de la Sarre amènera plus de 80.000 mètres par jour.

Pendant 119 jours elle amènera outre ce chiffre, 40.000 m. c., soit en tout.	4.760.000 m. c.
— 15 —	66.000 —
— 56 —	70.000 —
	5.920.000 —

Excès total disponible pour l'alimentation du réservoir de Réchicourt. . 9.670.000 —

Donc, l'excès du produit de la rigole de la Sarre passera par un déversoir du bief de partage dans l'étang de Réchicourt qui contient 4 millions de mètres cubes et qui pourra renouveler sa provision plusieurs fois dans l'année.

Ainsi, la rigole de la Sarre fournira, pendant 190 jours de l'année, les 80.000 mètres cubes nécessaires à l'alimentation du canal, ce qui absorbera 45.200.000 mètres cubes ; pendant les 175 jours restants, c'est le réservoir de Gondrexange qui suffira à l'alimentation et qui fournira 14 millions de mètres. On pourra, en outre, pour parer à toutes les éventualités, envoyer dans l'étang de Réchicourt le superflu de la rigole de la Sarre, soit en tout 9.670.000 mètres cubes.

Ajoutons que le bief de partage reçoit encore trois petits affluents dont le débit moyen est de 4172 mètres cubes par jour.

Ces trois prises d'eau secondaires suffisent à compenser les pertes permanentes du bief de partage, pertes qui ne dépassent pas 0^m,50 pendant la saison sèche et qui tombent même à 0^m,15 pendant la saison humide à cause des sources abondantes que renferment les tranchées du bief de partage, sources dont le débit varie suivant les saisons de 1500 à 7000 mètres cubes par jour.

A l'époque où l'on tirera du bief de partage, par l'écluse n° 1 du versant de la Meurthe, les 150 000 mètres cubes ou environ que fournira la rigole de la Sarre pour l'alimentation du canal et le remplissage de l'étang de Réchicourt, n'était-il pas à craindre qu'une dénivellation trop considérable vint à se produire dans le bief de partage, entre l'entrée dans ce bief à la gare de Hesse de la rigole de la Sarre et l'écluse n° 1 du versant de la Meurthe ? L'expérience directe a montré que cette pente superficielle était au maximum de 0^m,154 et qu'elle ne gênait pas la navigation, car elle créait une vitesse d'au plus 0^m,14 à la seconde.

Mais il était bon de la prévoir et l'on devra en tenir le plus grand compte dans l'exécution d'un canal ; car, dans le cas actuel, elle réduisait près de l'écluse n° 1 le mouillage de 0^m,15, et, si on n'avait pas prévu cette réduction, il eût fallu après coup approfondir cette portion du canal et abaisser les radiers. — En exécution, on a donc eu soin de donner une profondeur croissante depuis Hesse jusqu'à l'écluse n° 1 et on a de la sorte évité de graves mécomptes et des remaniements ultérieurs fort coûteux.

Nous avons vu qu'il fallait demander à l'étang de Gondrexange 14 millions de mètres cubes par an ; il était nécessaire, pour reconnaître si cela était possible, de tenir une comptabilité exacte et journalière de ce que cet étang recevait et donnait. M. Graëff a commencé par calculer les volumes correspondant à chaque division de l'échelle hydrométrique de l'étang, il a calculé en outre ce qui se perdait par l'évaporation et les filtrations et il en a conclu la réserve sur laquelle on pouvait compter. Cette réserve, dans les conditions les plus défavorables, restait supérieure à 10 millions de mètres cubes, non compris l'étang de Réchicourt qui contient 4 millions de mètres cubes et qui peut en recevoir 9 millions.

D'après les calculs précédents, c'est, quoi qu'il arrive, un excédant de plus de 5 millions de mètres des ressources sur la consommation. — « Le bief de

partage des Vosges est donc un de ces biefs de partage exceptionnels où l'on a plus d'eau qu'il n'en faut pour l'alimentation. »

Il va sans dire que les ressources ne doivent pas cependant être gaspillées et qu'il faut les ménager avec un certain soin ; c'est ce que recommandait M. Graëff en posant la règle suivante :

« En principe général, du 1^{er} janvier au 1^{er} juillet, on ne doit laisser sortir de l'étang de Gondrexange pour l'alimentation que ce qui ferait élever sa retenue au-dessus de la cote maxima 266^m,50, et manœuvrer de manière que la retenue subsiste à cette cote au 1^{er} juillet ou le plus près possible de cette cote, en complétant par l'étang de Réchicourt ce qu'il faut pour l'alimentation du canal et sans s'inquiéter si ce dernier réservoir sera ou non épuisé à cette époque du 1^{er} juillet, où la réserve de l'étang de Gondrexange existera tout entière et pourra parer à toutes les éventualités de la saison la plus sèche. On devra d'ailleurs, à partir du 1^{er} juillet, si l'étang de Réchicourt offre encore de l'encaisse, continuer à s'en servir en cas de besoin, en maintenant toujours celui de Gondrexange à sa cote la plus élevée possible. En un mot, on ne devra attaquer l'étang de Gondrexange au-dessous de sa retenue maxima que lorsque toutes les autres ressources seront épuisées. »

Nous ne dirons, pour terminer, que quelques mots des prises d'eau du versant du Rhin : elles ont toutes leur naissance dans la rivière de la Zorn et sont calculées pour débiter beaucoup plus que la consommation ordinaire de la section à laquelle elles correspondent ; on a voulu que chacune d'elles pût alimenter toute la portion du canal située à l'aval jusqu'à Strasbourg. C'est une sage précaution ; en général, il suffira de calculer les dimensions de chaque rigole de telle sorte qu'elle puisse débiter non-seulement ce qui est nécessaire à la consommation de sa section, mais encore à la consommation de la section suivante ; cela suffira, en général, pour parer aux avaries et causes diverses de chômage qu'une rigole peut avoir à subir.

5^o ALIMENTATION DU CANAL DE L'AINSE A LA MARNE MACHINES HYDRAULIQUES ÉLÉVATOIRES

Généralités. — En traitant des *distributions d'eau*, nous avons étudié déjà les machines hydrauliques élévatoires qui, prenant l'eau dans un cours d'eau naturel, la refoulent dans un réservoir supérieur à la ville qu'on veut alimenter. Nous avons montré que souvent l'intérêt et l'amortissement ainsi que l'entretien et la marche des machines pouvaient entraîner des dépenses annuelles moindres que l'intérêt des sommes qu'on dépenserait à construire un canal de dérivation ; dans ce cas, la solution des machines élévatoires est la plus avantageuse ; elle est en réalité moins coûteuse, n'exige pas l'immobilisation d'un gros capital, et se prête mieux aux variations de l'avenir.

Il faut considérer cependant qu'un aqueduc en maçonnerie est une œuvre éternelle, exigeant beaucoup moins de soins que n'en réclament des machines, qu'à ce point de vue il présente des avantages, et qu'à égalité de dépense, et même avec un certain excès de dépense, il doit être préféré lorsqu'on peut se procurer facilement le capital de premier établissement.

On ne pouvait songer autrefois à alimenter par des machines un canal à bief de partage ; la mécanique n'avait pas encore fait assez de progrès. Les vis

d'Archimède, mues par des moulins à vent, ont suffi à dessécher les vastes marais de la Hollande ; elles seraient impuissantes à élever à quelques dizaines de mètres de hauteur les eaux nécessaires à l'alimentation d'un canal.

Il fallait pour ce travail nos puissantes pompes mises en marche par des machines à vapeur ou par des moteurs hydrauliques.

On comprend sans peine qu'il sera, d'une manière générale, toujours plus avantageux de recourir à des moteurs hydrauliques, lorsqu'il sera possible d'en établir sur un cours d'eau ou sur une dérivation de cours d'eau ; le moteur hydraulique offre surtout le grand avantage d'être à l'abri des variations de dépense qu'entraîne pour les machines à vapeur la variation des prix des charbons.

Le bief de partage d'un canal important peut exiger par jour 50 à 80 mille mètres cubes d'eau ; c'est le volume qu'exige l'alimentation d'une grande ville de 250 000 à 400 000 habitants, à raison de 200 litres par tête.

Les exemples et les calculs de machines élévatoires que l'on trouvera dans notre *Traité de la distribution des eaux* peuvent donc être appliqués à l'alimentation des canaux.

Aussi ne parlerons-nous ici que de l'alimentation du canal de l'Aisne à la Marne, artère importante qui relie notre réseau navigable du Nord avec le réseau de l'Est¹.

Ancienne alimentation du canal de l'Aisne à la Marne. Le canal de l'Aisne à la Marne part de Berry-au-Bac sur le canal latéral à l'Aisne, passe sous Reims, remonte la vallée de la Vesle, traverse la ligne de faite par un souterrain de 2 500 mètres, et descend à Condé, où il se soude avec le canal latéral à la Marne.

Le versant de l'Aisne a une longueur de	59.487 mètres.
Le bief de partage.	11.920 —
Le versant de la Marne.	6.628 —
Longueur totale.	58.035 —

Sur le versant de l'Aisne, il y a seize écluses de 2^m,70 de chute ; tirant d'eau normal 1^m,60 ; largeur au plafond 10 mètres, et à la flottaison 16^m,40 ; largeur du souterrain 6^m,20 avec tirant d'eau de 2 mètres à 2^m,50.

Autrefois, le canal n'était alimenté que par trois prises d'eau faites dans la Vesle, dont une alimentait le bief de partage et tout le versant de la Marne. Cette alimentation était tout à fait insuffisante et les chômages atteignaient jusqu'à 185 jours par année. M. Desfontaines fit exécuter, de 1857 à 1861, un étanchement général en béton, qui n'exigea qu'une faible dépense de 47 fr. 05 par mètre courant de canal, et qui réussit parfaitement, mais qui néanmoins ne permit pas de supprimer les chômages.

En 1849, M. Mary avait mis en avant l'idée d'assurer l'alimentation du canal de l'Aisne à la Marne, en introduisant dans le canal latéral à la Marne un volume de cinq à six mètres cubes d'eau par seconde, pris dans la Marne même ; ce volume devait rentrer à la rivière, à Condé, en utilisant la chute de quatre mètres qui existe en ce point pour mettre en mouvement de puissantes machines

¹ Voir, pour les détails complets de l'alimentation du canal de l'Aisne à la Marne, l'ouvrage publié en 1872 par M. l'ingénieur en chef Gérardin, intitulé : *Théorie des moteurs hydrauliques, applications et travaux exécutés pour l'alimentation du canal de l'Aisne à la Marne par des machines.*

hydrauliques pouvant élever à vingt-six mètres de hauteur 415 litres par seconde, c'est-à-dire un volume d'eau supérieur à celui de la Vesle.

C'est ce projet qui a été exécuté ; seulement au lieu de faire l'appel de l'eau motrice par le canal latéral à la Marne dont la navigation eût subi une gêne considérable, on a eu recours à une dérivation spéciale et le cube d'eau qu'il est possible d'élever par seconde est de 1200 litres au lieu de 415.

Dépense du canal. — En 1860, la dépense d'eau par filtration entre Berry-aubac et Reims était de 0^m,66 ; les travaux d'étanchement la ramenèrent à 0^m,24 puis à 0^m,10 par mètre courant et par vingt-quatre heures. Ajoutant 0^m,02 pour l'évaporation calculée à raison d'une tranche de 0^m,004 par vingt-quatre heures et 0^m,05 pour la consommation spéciale des éclusées du port de Reims, on trouvait une consommation totale de 0^m,15 par jour et par mètre courant.

De même au bief de partage et sur le versant de la Marne, les étanchements ramenèrent les pertes permanentes à 0^m,20 par jour et par mètre courant.

Chaque bateau passant au bief de partage consomme deux éclusées, c'est-à-dire 1150 mètres cubes ; la navigation ne comporte pas plus de quinze passages par jour, ce qui représente une dépense par seconde de 200 litres.

Le bief de partage peut du reste tenir en réserve une tranche de 0^m,20 de hauteur, suffisante pour le passage de quarante bateaux ; il n'y a donc pas lieu de créer un réservoir spécial pour emmagasiner le produit des machines élévatoires.

En faisant la somme de la consommation diurne du canal, on reconnaît qu'il faut amener au bief de partage un volume de 597 litres à la seconde.

Afin de parer à toute éventualité, on s'est arrangé de manière à pouvoir, rien qu'avec les usines de Condé, envoyer 1200 litres par seconde au bief de partage.

Système exécuté. — Près de Châlons, un barrage du système Desfontaines, construit sur la Marne, rejette une partie des eaux dans un canal spécial de dérivation, qui pendant quelque temps longe le canal latéral, et débouche à Condé à un niveau assez élevé pour créer, en déversant ses eaux dans la Marne, une chute d'une grande puissance, laquelle fait mouvoir cinq turbines auxquelles sont attelées des pompes.

Ces pompes lancent dans une conduite forcée les eaux nécessaires à l'alimentation du canal et ces eaux se déversent dans le bief de partage.

Le canal de dérivation des eaux motrices a une longueur de 18 568 mètres ; sa largeur au plafond est de 8 mètres avec talus à 5 de base pour 2 de hauteur, et la pente kilométrique régulière est de 0^m,10. La profondeur d'eau variant de 1 mètre à 2^m,20, le débit du canal varie de 5 155 litres à 15 670 litres à la seconde ; la vitesse des eaux, pour la profondeur de 2^m,20 atteint 0^m,55, aussi a-t-il fallu perreyer les berges des parties concaves ; la cuvette a dû être étanchée sur une assez grande longueur par divers procédés.

« En faisant l'étude des machines élévatoires de Condé, nous nous sommes attaché avec le plus grand soin, dit M. Gérardin, à avoir un système simple, d'un entretien facile, et dont toutes les parties non-seulement fussent en vue, mais encore fussent d'un accès très-commode, afin qu'on n'éprouvât jamais d'hésitation à les visiter fréquemment. »

C'est cette idée qui a conduit à adopter cinq turbines Kœchlin, placées en ligne à 10 mètres de distance l'une de l'autre. Par l'intermédiaire d'un pignon et d'une roue d'angle, chaque turbine actionne un arbre horizontal, dont l'axe, parallèle à la ligne des turbines, est à 5^m,50 en contre-haut du niveau

normal de la retenue. Cet arbre horizontal porte à chaque extrémité une bielle qui actionne une pompe verticale à double effet.

Les eaux refoulées par les diverses pompes se réunissent dans un grand tuyau surmonté de trois réservoirs d'air qui régularisent la pression, et s'élèvent ensuite par une conduite forcée jusqu'au sommet du coteau, où elles sont versées dans la rigole qui les mène au bief de partage.

Nous n'entrerons pas ici dans l'étude détaillée des turbines et des pompes; cette étude est purement mécanique et est basée sur les principes développés en d'autres sections de notre ouvrage.

La chute peut varier de 6^m,92 à l'étiage jusqu'à 5^m,42 lors des grandes crues de la Marne; la turbine Kœchlin conserve toujours un bon rendement dans ces conditions et a l'avantage de n'être jamais noyée. — Le modèle adopté à Condé a 2 mètres de diamètre.

Pour un volume d'eau de 600 litres à refouler, la hauteur d'ascension était de 20^m,22, et le travail mécanique obtenu était de 12 152 kilogrammètres; dans la hauteur d'ascension est comprise la perte de charge due à la résistance de l'eau dans une conduite de 622 mètres de longueur, formée de deux files de tuyaux en fonte de 0^m,80 de diamètre intérieur.

Pour un volume d'eau de 1200 litres à la seconde, la hauteur d'ascension était de 25^m,89, exigeant un travail mécanique de 28 668 kilogrammètres.

Aux expériences, les pompes ont donné d'excellents résultats : le rapport entre le volume de l'eau refoulée et le volume engendré par le déplacement des pistons a été de 0,95. — Le rendement mécanique de la turbine a été de 67 p. 100. — Le rendement mécanique des pompes a été à peu près le même.

Dépenses. — Les dépenses de premier établissement de ce système d'alimentation ont été les suivantes :

Bureaux extérieurs et personnel des surveillants.	25.847 ^f 87
Acquisitions de terrains et indemnités.	568.190 ^f 06
Canal d'aménée.	777.282 ^f 47
Canal de fuite, déversoir et bâtiment des machines.	350.560 ^f 31
Abords et dépendances.	68.621 ^f 75
Conduite ascensionnelle.	150.248 ^f 49
Rigole faisant suite à la conduite.	335.557 ^f 07
Machines élévatoires.	485.984 ^f 75
Total.	2.538.092 ^f 75

Exploitation. — L'exploitation se fait avec le personnel suivant :

Un chef mécanicien, au salaire de.	2200 francs.
Un aide mécanicien.	1500 —
Deux graisseurs.	2000 —
Un garde.	900 —
Quatre cantonniers.	2700 —
Total.	9300 —

Le graissage et le nettoyage des machines coûte annuellement.	5.039 ^f 71
La garniture des pistons et des presse-étoupes.	515 ^f 00
Le chauffage et l'éclairage.	814 ^f 06
Entretien des machines, des canaux, des bâtiments, etc.	4.555 ^f 25

Total des dépenses annuelles. 20.000^f 00

Le prix des 1000 mètres cubes d'eau montés à 20^m,22 est ainsi revenu à 1^r,08, ce qui met à 0^r,054 le prix de 1000 mètres cubes élevés à 1 mètre de hauteur.

Les dépenses par cheval vapeur utile peuvent donc s'établir comme il suit :

Personnel de marche et d'entretien.	58 ^r 98
Graisse, huile et fournitures diverses.	40 ^r 42
Entretien du système.	27 ^r 47
Total.	126 ^r 86

Comparaison entre les divers systèmes de machines élévatoires. — Le tableau ci-après, emprunté aux renseignements fournis par MM. les ingénieurs Nonton et Gérardin, permet de comparer ensemble, au point de vue économique, les divers systèmes de machines élévatoires :

DÉSIGNATION DES USINES.	VOLUME MOYEN MONTÉ PAR JOUR.	HAUTEUR MOYENNE RÉDUITE D'ASCENSION.	DÉPENSE PAR 1000 MÈTRES CUBES MONTÉS A 1 M. EFFECTIF.
1^o USINES HYDRAULIQUES.			
	mèt. cubes.	mètres.	francs.
Usine de Condé-sur-Marne (2 ^e semestre 1871).	50.525	20,22	0,0554
Usine de Saint-Maur (ville de Paris, 2 ^e semestre 1871).	45.866	39,65	0,067
Usine d'Iles-les-Meldeuses (ville de Paris, 2 ^e sem. 1871).	24.896	11,75	0,109
Usine de Trilbardou (ville de Paris, 2 ^e semestre 1871).	18.324	14,92	0,212
Saint-Maur (année 1869 entière, réparations comprises).	58.799	58,45	0,147
Iles-les-Meldeuses (année 1869 entière, répar. compr.).	15.558	11,85	0,500
Trilbardou (année 1869 entière, réparations comprises).	12.885	14,92	0,250
2^o USINES A VAPEUR.			
Landrecies en 1862 (canal de la Sambre à l'Oise).	20.488	1,85	1,450
Ors (canal de la Sambre à l'Oise).	25.795	2,62	1,020
L'Abbaye (canal de la Sambre à l'Oise).	24.756	2,98	0,810
Usine d'Austerlitz (ville de Paris, 1869).	14.182	62,54	0,525
Usine de Chaillot (ville de Paris, 1869).	25.572	50,45	0,615
Usine de Maisons-Alfort (ville de Paris, 1869).	2.521	65,65	0,451
Usine de Port-à-l'Anglais (ville de Paris, 1869).	2.957	72,90	0,451
Usine de l'Ourcq (ville de Paris, 1869).	5.978	47,28	0,482

L'évaluation ne comprend pas l'intérêt des sommes de premier établissement. — Cet intérêt augmenterait beaucoup le prix de revient.

Ainsi, prenons le canal de l'Aisne à la Marne; le prix d'un mètre cube élevé au bief de partage est de 0^r,00108.

La dépense annuelle n'est que de 20 000 francs; mais, si on ajoute l'intérêt de la dépense première, intérêt qu'il faut calculer à 10 p. 100 à cause de l'amortissement et de l'usure, c'est une dépense annuelle de 250 000 francs à ajouter à la première : la dépense est donc 15 fois et demie plus forte, c'est-à-dire que le prix du mètre cube d'eau élevé au bief de partage revient à 0^r014. Avec l'intérêt calculé à 5 p. 100, ce prix ne serait que de 0^r,0075.

On a calculé que les eaux recueillies dans les réservoirs du canal de Bourgogne revenaient par mètre cube versé dans le bief de partage, à :

0 ^r ,025	pour le réservoir de Grosbois,
0 ^r ,017	— Chazilly,
0 ^r ,007	— Cercey.

Ce qui fait une moyenne arithmétique de 0^m,016 par mètre cube, dépense supérieure à celle que nous venons de trouver pour le canal de l'Aisne à la Marne, tout compris.

Programme du concours pour les machines élévatoires. — La construction des machines élévatoires est d'ordinaire mise au concours, sur des conditions déterminées à l'avance. — C'est le procédé suivi par la ville de Paris.

Voici, pour les machines du canal de l'Aisne à la Marne, le texte des conditions du concours :

Article 1^{er}. — Les eaux de la Marne, dérivées depuis Châlons, arrivent à Condé à un niveau qui sera le même en tous temps, et qui est à la cote 78,46 du nivellement général de la France. A Condé, l'étiage de la Marne est à la cote 71,54, et les crues les plus hautes montent à 75,54, en sorte que les différences de niveau entre les eaux dérivées et celles de la rivière sont, en étiage, 6^m,92, et en crue 5^m,12. Ces différences de niveau, s'il n'y avait pas de pertes entre les moteurs et la rivière, représenteraient les deux valeurs extrêmes de la chute utilisable.

La puissance motrice de cette chute sera recueillie par cinq turbines du système Kœchlin, qui auront 2 mètres de diamètre extérieur et seront capables de débiter 2500 litres à la seconde, sous la chute de 6^m,70.

Les turbines ne fonctionneront pas habituellement toutes ensemble. Le nombre qu'on en mettra en marche à la fois dépendra et de la hauteur de l'eau en rivière, c'est-à-dire de la chute, et des besoins de l'alimentation, besoins qui varient, sinon dans la même proportion, du moins dans le même sens que la chute.

Ces turbines devront pouvoir se conjuguer au moyen d'embrayage des arbres de couche. Ce système d'embrayage devra être solide, facile, simple. Toutefois, il ne devra pas, pour éviter les causes d'accidents, pouvoir fonctionner en pleine marche.

Les turbines actionnent six pompes à double effet lançant l'eau dans une conduite de refoulement formée de deux files de tuyaux de fonte de 80 centimètres de diamètre intérieur, de 670 mètres de longueur (réduite pendant l'exécution à 621^m,80), et débouchant dans une rigole dans laquelle le niveau de l'eau sera supposé à la cote 97,74.

Dans les basses eaux, c'est-à-dire avec la forte chute, deux pompes à double effet correspondront à la puissance d'une turbine.

Les pompes seront verticales, elles n'auront pas ou n'auront que peu d'aspiration.

Les soupapes ou clapets seront, avant le changement de direction du piston, tirés par une tige à ressort qui recevra son mouvement d'un excentrique calé sur l'arbre, et qui tendra à les ramener sur leur siège. L'angle d'avance dans le calage et la force du ressort se détermineront de manière à supprimer les chocs et à obtenir le maximum d'effet utile.

Afin de faire varier le travail, en conservant constante la course du piston, les pompes devront pouvoir être rendues à volonté à simple ou à double effet par une manœuvre facile et qu'on puisse exécuter en pleine marche.

Les dispositions de transmissions seront telles que, les turbines marchant à pleine eau, on puisse toujours, en les conjuguant convenablement et en réduisant le travail des pompes par la mise à simple effet d'une ou de plusieurs, arriver à faire le nombre de tours qui correspond au maximum d'effet.

La fourniture comprendra les turbines, les parois en fonte des cabinets d'eau, les bâtis, les plaques de fondation des pompes, les transmissions du mouvement, les pompes, leurs tuyaux d'aspiration et de refoulement, les réservoirs d'air munis de manomètres, de tubes et de robinets indicateurs du niveau d'eau, la portion des tuyaux de refoulement qui est logée dans le bâtiment, et qui finit inclusivement à la tubulure de raccordement avec la double conduite.

Le tuyau de refoulement de chaque pompe est séparé du grand tuyau commun par un clapet de retenue faisant partie de la fourniture.

Enfin, la fourniture comprend deux séries de tarauds et deux séries de clefs pour toutes les dimensions de boulons employés, deux crics, deux mouffes différentiels avec chaînes,

dix burettes à graisser, un réservoir d'huile en tôle de 100 litres; les rechanges, comprenant deux pistons complets avec garnitures, un moule pour les garnitures, deux jeux de clapets d'aspiration et de refoulement.

Article 2. — Les plans ci-joints indiquent les emplacements des turbines, qui seront disposées en ligne et distantes l'une de l'autre de 10 mètres.

Le sol général, dans la chambre des machines, est à la cote 75,86. Il règne sur les côtés transversaux et sur le côté d'amont un long trottoir à la cote 78,86, qui est la cote du couronnement des digues du canal d'aménée.

Les turbines seront exécutées dans les ateliers de M. Kœchlin.

Le constructeur pourra, s'il le juge convenable, ne pas couler chez lui les fontes des cabinets d'eau, des bâtis, des tuyaux et autres pièces de mécanique; mais les usines dans lesquelles il les commandera devront être agréées par les ingénieurs.

Les fontes seront en seconde fusion.

Toutes les parties qui composeront le système élévatoire seront parfaitement en vue et disposées de telle façon que l'accès en soit très-facile.

Les fers et les fontes qui composent les cabinets d'eau, les bâtis, le grand tuyau commun de refoulement, les réservoirs d'air, l'escalier sous le radier des cabinets d'eau, seront payés d'après leur poids et au prix consenti par le fournisseur.

Les turbines, les paliers, les transmissions, les pompes, les tuyaux d'aspiration et de refoulement, les clapets, les soupapes, les reniflards, les manomètres, les robinets des chambres d'eau, enfin le treuil de pose, formeront un forfait dont le soumissionnaire fera connaître le prix pour lequel il s'engage à l'exécuter.

Les grandes vannes motrices, la grille d'épuration le long du bâtiment, les escaliers, qui font descendre du trottoir sur le sol de l'usine, font partie d'une autre entreprise.

Article 3. — L'adjudication aura lieu avec concurrence. A cet effet, au jour qui sera fixé, les constructeurs qui auront été appelés et qui voudront concourir à l'adjudication, devront fournir les pièces ci-après :

1° Engagement de verser au Trésor, dans la huitaine qui suivra l'approbation de l'adjudication, une somme de 10 000 francs à titre de cautionnement;

2° Une soumission sous enveloppe cachetée, qui devra être conforme au modèle annexé, et qui portera le prix auquel le soumissionnaire aurait à faire la fourniture;

3° Le projet représenté par des plans, coupes et élévations, cotés et suffisamment développés pour qu'on puisse apprécier le système.

Les dessins seront accompagnés d'un devis descriptif contenant les poids approximatifs des principales pièces de l'ensemble de l'appareil.

Séance tenante, il sera procédé, en présence des concurrents, à l'ouverture des enveloppes contenant les projets et les soumissions. Toutes les pièces seront ensuite adressées à l'Administration supérieure, avec un rapport des ingénieurs, qui proposeront l'adoption du système qui leur semblera le meilleur et le plus avantageux, tant sous le rapport de la disposition que sous celui de la dépense.

L'adjudication ne deviendra définitive qu'après l'approbation du Ministre.

Article 4. — Le constructeur, en cours d'exécution, ne pourra apporter de changement au projet que du consentement de l'Administration.

Les poids indiqués au devis descriptif pour les pièces à forfait ne pourront être diminués de plus d'un dixième, et de plus de 5 pour 100 sur l'ensemble des pièces.

Article 5. — Les appareils formant l'objet de la soumission seront loyalement exécutés dans toutes leurs parties, et formés de matériaux de très-bonne qualité.

L'entrée des ateliers sera toujours accordée aux ingénieurs et aux agents de l'Administration chargés de surveiller la construction.

Article 6. — Les appareils complets seront terminés et mis en place dans un délai maximum de douze mois après l'approbation de l'adjudication. Ce délai est de rigueur, et, en cas de retard du fait du constructeur, il lui sera fait une retenue de 100 francs par jour sur le prix de l'adjudication.

L'État devra livrer l'emplacement complètement uni et entretenu à sec pendant le montage des turbines.

Cet emplacement devra être livré dans un délai de huit mois après l'approbation de l'adjudication. Tout retard donnerait lieu à une extension égale du délai accordé pour la mise en place et le montage des machines.

L'État prend à sa charge les dépenses qu'exigeront les tailles et les ravalements des pierres pour la préparation des emplacements, les refouillements, les trous des boulons de scellement. Toutefois, ces travaux seront exécutés sous la surveillance et sous la direction du constructeur.

Article 7. — Bien que les appareils aient été agréés par l'Administration, il est bien entendu que le constructeur sera complètement responsable de leur bon fonctionnement, qu'il devra remplacer à ses frais toutes pièces dont la marche serait défectueuse. Les clapets ne devront faire entendre aucun choc.

Article 8. — Le délai de garantie sera de deux ans à partir du jour du fonctionnement des appareils; pendant la durée de garantie, le constructeur devra remplacer à ses frais toute pièce présentant quelque défaut de qualité des matières ou vice de construction dûment constaté, sans toutefois qu'il soit tenu à payer aucune indemnité pour chômage.

Article 9. — A la réception provisoire et à l'expiration du délai de garantie, des essais de garantie seront faits contradictoirement pour reconnaître la marche des machines et la valeur du rapport entre le travail effectif et le travail disponible.

Les pompes devront élever un volume d'eau égal au moins aux neuf dixièmes du volume engendré par les pistons.

Le travail effectif sera au moins égal à la moitié du travail disponible.

Le travail disponible sera mesuré par le volume de l'eau motrice, multiplié par la différence entre le niveau de l'eau devant les vannes motrices et le niveau de l'eau dans le puits de la turbine.

Le travail effectif sera mesuré par le volume de l'eau montée, multiplié par la pression manométrique observée dans les tuyaux à l'origine de la conduite, et diminuée de la hauteur du niveau de l'eau dans le canal d'amenée au-dessus du zéro du manomètre.

Dans le cas où le minimum de rendement ne serait pas obtenu, les appareils pourraient être refusés, et, en cas de refus, ils devraient être enlevés.

Article 10. — Le paiement du prix consenti par l'adjudication s'effectuera comme il suit :

Trois dixièmes lorsque l'adjudicataire justifiera que les principales pièces sont en construction dans ses ateliers ;

Quatre dixièmes au commencement de la pose ;

Deux dixièmes à la mise en marche des appareils ;

Un dixième à l'expiration du délai de garantie.

Article 11. — L'adjudicataire sera, d'ailleurs, soumis aux clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs des travaux publics, par décision en date du 6 novembre 1866, en tout ce qui n'est pas contraire au présent cahier des charges.

MOYENS D'ÉCONOMISER L'EAU DES ÉCLUSÉES

Lorsqu'un sas a été rempli pour le passage d'un bateau montant, il faut ensuite le vider, soit pour livrer passage à un bateau descendant, soit pour ne pas laisser les portes d'aval trop longtemps soumises à une pression qui les fatigue-

rait. — Il y a donc consommation d'un certain volume d'eau, volume que nous avons appelé une éclusée et qui est égal au produit de la section horizontale du sas par la hauteur de chute de l'écluse.

Au point de vue du rendement mécanique, les canaux sont une machine hydraulique des plus médiocres, car le volume d'eau qu'il faut tirer du bief de partage pour le passage d'un bateau représente un travail mécanique bien supérieur au travail réel résultant de l'élévation du bateau. Il serait facile de calculer le rapport de ces deux travaux, mais le calcul est sans intérêt.

Quoi qu'il en soit, il arrive fréquemment dans les canaux à point de partage que l'eau n'est pas surabondante et qu'il y a grand intérêt à l'économiser, surtout dans certaines sections où sont accumulés plusieurs biefs courts ou des écluses accolées.

Plusieurs systèmes ont été mis en avant, et quelques-uns même expérimentés, ayant pour but d'économiser et de mettre en réserve une partie de chaque éclusée, partie qui sera employée dans l'éclusée suivante; l'appoint seul, destiné à parfaire cette éclusée, sera demandé au bief d'amont.

Parmi ces systèmes, nous citerons les bassins d'épargne, le flotteur de Bétancourt et l'appareil à colonnes d'eau oscillante de M. de Caligny.

1° **Bassins d'épargne.** — La figure 4, de la planche LV, représente la coupe transversale d'une écluse, dans laquelle mn est le niveau du bief d'amont, et pq le niveau du bief d'aval. — Le volume de l'éclusée est mesuré par $mnpq$; supposons cette aire divisée en un certain nombre de tranches horizontales égales, en cinq tranches, par exemple, et supposons en outre qu'il existe à côté de l'écluse trois bassins ayant une section égale à celle du sas et correspondant exactement aux trois tranches intermédiaires de l'éclusée. — La première tranche aa_1 pourra s'écouler dans le premier bassin bb_1 ; la seconde tranche a_1a_2 s'écoulera dans le second bassin b_1b_2 , etc.; l'avant-dernière tranche a_3a_4 s'écoulera dans le dernier bassin b_3b_4 , et la dernière tranche a_4a_5 s'en ira dans le bief d'aval. — Supposons maintenant qu'on veuille remplir le sas; le premier bassin bb_1 fournira le volume cc_1 de la troisième tranche de l'éclusée, le second bassin fournira le volume c_1c_2 de la quatrième tranche de l'éclusée, et le troisième bassin fournira le volume de la cinquième et dernière tranche de l'éclusée.

On n'aura donc à demander au bief d'amont que le volume des deux tranches supérieures de l'éclusée, et par suite on aura économisé les $\frac{3}{5}$ du volume de l'éclusée.

En général, si n est le nombre des bassins, étagés comme nous venons de le dire, on pourra économiser la fraction

$$\left(\frac{n}{n+2} \right)$$

de chaque éclusée.

Avec un seul bassin correspondant à la tranche du milieu de l'éclusée, on économisera le $\frac{1}{3}$ de cette éclusée.

Avec un bassin semblable à l'écluse et aussi profond qu'elle, on ne pourrait économiser que le quart de l'éclusée.

L'économie irait en réalité à la fraction $\frac{1}{2}$ si on possédait deux écluses accolées, comme il en existe sur les canaux à grande fréquentation; une des écluses étant pleine et l'autre vide, si on établit entre elles une communication, un ni-

veau commun s'y établit, et chacune d'elles se trouve à moitié pleine; pour remplir celle qui d'abord était vide, on n'a donc qu'une demi-écluse à tirer du bief d'amont.

La figure 3 de la planche XXXI représente un bassin d'épargne économisant le $\frac{1}{3}$ de l'écluse, et la figure 4 représente un double bassin d'épargne économisant la moitié d'une écluse.

D'après Minard, ces bassins d'épargne étaient fréquemment employés en Angleterre et en Belgique. — Ils sont sans effet s'il n'y a pas une prise d'eau immédiatement au-dessous, ou si les écluses inférieures n'ont pas une chute plus petite que celle de l'écluse où est le bassin, et diminuée dans la même proportion que l'eau économisée.

Un bassin d'épargne est une excellente ressource pour faire face à l'excédant de dépense d'eau d'une écluse de très-grande chute, qu'on ne peut éviter. C'est dans ce cas particulier que la première application en a été faite, en 1645, pour une écluse de 6^m,50 de chute.

Les écluses doubles accolées, se remplissant à moitié l'une par l'autre, ont été employées au canal Ladoga, en Russie, et au canal du Régent, en Angleterre.

2^o **Flotteurs de Bétancourt.** — Bétancourt, un des auteurs de l'ancienne classification des machines élémentaires, a imaginé un flotteur destiné à annuler la consommation des écluses. — En voici le principe :

Un bassin A, figure 5, planche LV, plus profond que l'écluse, d'une capacité suffisante pour contenir une écluse entière, est en communication permanente avec l'écluse E; dans ce bassin se trouve un flotteur F, lequel est suspendu par une chaîne passant sur la poulie *q* à un levier *mon*; le point *o* est fixe, et le grand bras *on* du levier porte un poids P.

Le flotteur est disposé de manière que son poids soit égal au poids du volume d'eau déplacé lorsque l'immersion est aussi grande que possible; quand le maximum d'immersion est ainsi réalisé, la petite branche du levier est horizontale en *oq*; pour soulever le flotteur, on éprouve donc une certaine résistance, et il faut exercer un effort P à l'extrémité *n* du levier.

Lorsque le levier se trouvera dans la position représentée par la figure il aura tourné d'un angle α , et le flotteur se sera élevé d'une certaine quantité *x* égale à la longueur de chaîne *qm*. Appelons S la somme des sections horizontales du bassin et de l'écluse, *s* la section horizontale du flotteur, le volume d'immersion perdu par celui-ci pour l'ascension *x* sera *sx*; le niveau commun de l'eau dans le bassin et dans l'écluse aura donc baissé dans le rapport inverse des sections, c'est-à-dire d'une hauteur égale à

$$\left(\frac{sx}{S-s} \right).$$

L'émersion totale du flotteur sera donc de :

$$\left(x + \frac{sx}{S-s} \right) \text{ ou de } \left(\frac{Sx}{S-s} \right).$$

La traction exercée par le flotteur sur la chaîne *mq* aura pour valeur, en désignant par π le poids du mètre cube d'eau :

$$\frac{\pi \cdot S \cdot sx}{S-s}$$

Le bras de levier de cette traction est or ou

$$om \cos \frac{\alpha}{2};$$

le bras de levier de la puissance P est

$$on \sin \alpha;$$

quant à l'ascension x , elle est égale à mq , ou

$$2.mr \text{ ou } 2.om \sin \frac{\alpha}{2}$$

Égalant le moment de la résistance à celui de la puissance, nous trouvons pour l'équation d'équilibre :

$$\frac{\pi.S.s}{S-s} 2.om^2 \cos \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\alpha}{2} = P.on \sin \alpha.$$

Si on remarque que

$$2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2}$$

est égal à

$$\sin \alpha,$$

l'équation d'équilibre se réduit à :

$$\frac{\pi.S.s}{S-s} om^2 = P.on.$$

Si cette équation est une fois vérifiée, elle le sera pour toutes les positions du système, et l'appareil théorique sera en équilibre indifférent. Pour soulever le flotteur d'une quantité quelconque, il n'y aura donc à exercer en n qu'un effort suffisant pour vaincre les résistances passives, telles que les frottements. Un éclusier en manœuvrant un engrenage pourra produire cet effort.

En soulevant suffisamment le flotteur F , on abaissera donc le niveau commun du bassin A et de l'écluse E à la hauteur du bief d'aval; on introduira un bateau dans le sas, et, pour l'élever au niveau du bief d'amont, il suffira d'abaisser le flotteur assez profondément pour que le plan d'eau du bassin A et de l'écluse E se relève précisément jusqu'à ce niveau du bief d'amont.

Ainsi, la dépense d'eau sera nulle, le même volume servira toujours: le remplissage et la vidange du sas seront remplacés par les oscillations du flotteur.

Ce flotteur est donc excellent en théorie; malheureusement, dans la pratique, dès qu'on cesse de l'appliquer à des écluses en miniature, le flotteur avec ses

leviers devient une énorme machine très-compliquée, très-lourde et très-couteuse. Aussi n'a-t-on pu l'employer.

En 1864, M. Navellier, mécanicien de Creil, a présenté un système qui ne diffère de celui de Bétancourt qu'en ce que le contre-poids fixe P est remplacé par un cylindre mobile en fonte qui peut se déplacer d'un bout du levier à l'autre. A mesure que ce cylindre s'approche du flotteur, il le fait enfoncer davantage et élève l'eau dans le sas; à mesure que le cylindre s'éloigne du flotteur et se rapproche du point fixe, le flotteur s'élève et fait baisser l'eau dans le sas.

On trouvera dans les *Annales des ponts et chaussées* une note très-intéressante où M. l'Ingénieur Collignon soumet au calcul les conditions du système: il montre que le cylindre roulant devrait peser 480 tonnes, ce serait par exemple un rouleau en fonte de 50 mètres de long et de $1^m,65$ de diamètre; les leviers devraient être d'énormes balanciers métalliques.

En résumé, l'appareil est curieux dans un cabinet de physique, comme exemple d'équilibre indifférent, « mais, dit M. Collignon, il n'est pas applicable, précisément dans les cas où il aurait à rendre le plus de services, c'est-à-dire lorsque les sas ont les dimensions que réclame la batellerie moderne.

3° **Colonnes d'eau oscillantes de M. de Caligny.** — M. le marquis de Caligny, bien connu par ses intéressantes recherches hydrauliques, a tiré un excellent parti des colonnes d'eau oscillantes et de la transformation de la force vive d'une masse liquide en travail élévatoire.

A la page 411 de notre *Traité de mécanique*, nous avons décrit une machine élévatoire construite dans ce sens; nous en rappellerons ici le principe, parce qu'il fera bien comprendre l'application qui en a été faite aux écluses.

Un bassin N , figure 3, planche LV, communique par un tuyau ab avec un bassin M d'un niveau inférieur; l'écoulement s'établit et le tuyau ab est parcouru par une colonne liquide animée d'une vitesse v , facile à calculer, et possédant par conséquent une force vive mv^2 . Imaginez qu'à un moment donné on descende sur l'orifice b un tuyau vertical bc , dont la base s'adapte exactement sur l'orifice b : l'écoulement dans le bassin M va se trouver subitement arrêté, mais la colonne d'eau en mouvement dans le tube ab ne s'arrête pas pour cela, il faut que sa force vive se dépense soit en chocs, soit en travail; il se produit bien quelques chocs et frottements, mais la plus grande partie de la force vive se transforme en travail: le liquide s'élève dans le tuyau bc , et une partie se déverse en c dans un bassin P d'un niveau supérieur à N .

Quand la force vive est épuisée, l'épanchement s'arrête, la colonne d'eau redescend dans le tube bc au niveau N . Si alors on soulève le tuyau bc , l'écoulement se rétablit en b dans le bassin M ; au bout d'un instant le régime uniforme est rétabli et offre une nouvelle provision de force vive, qu'on utilisera de la même manière en abaissant le tuyau vertical bc . Et ainsi de suite, indéfiniment. Nous pourrions soumettre ce système au calcul et en chercher le rendement; mais cela nous entraînerait trop loin de la question.

Tel est le principe mis en œuvre par M. de Caligny pour économiser une partie du volume des éclusées; l'expérience en grand en a été faite à l'écluse de l'Aubois sur le canal latéral à la Loire.

M. l'ingénieur de Lagrené, dans son *Traité de navigation intérieure*, a présenté la théorie mathématique complète des appareils à colonnes d'eau oscil-

lantes ; le lecteur désireux de la connaître pourra se reporter à cet ouvrage, dans lequel il trouvera également les dessins complets des travaux exécutés à l'écluse de l'Aubois.

Nous donnerons seulement la description succincte de ces travaux, d'après la notice de l'Exposition universelle de 1875 ; pour rendre cette description plus claire, nous avons indiqué sous forme de croquis, aux figures 1 et 2 de la planche LV, la disposition générale des appareils.

Ils consistent en :

1^o Un aqueduc béliet *ab*, en plein cintre, de 1^m,20 de largeur et de 1^m,55 de hauteur sous clef ; cet aqueduc a son radier au niveau de celui du bief d'aval, dont le mouillage est de 1^m,80, de sorte que l'intrados à la clef est à environ 0^m,25 sous le niveau du bief d'aval. Cet aqueduc débouche du côté d'aval *a* dans la chambre des portes d'aval où il présente un élargissement, et, du côté d'amont, dans deux réservoirs séparés et situés en arrière de la chambre des portes d'amont ;

2^o Un fossé de décharge *cd*, appelé aussi bassin d'épargne, qui part de l'un des deux réservoirs dont il vient d'être question, et communique par une vanne avec le bief d'aval, tandis que l'autre réservoir A communique avec le bief d'amont ;

3^o Deux tubes verticaux mobiles *m* et *n*, ouverts à leurs deux extrémités et reposant sur deux ouvertures circulaires ayant à peu près le même diamètre que les tubes, et percées dans la voûte de l'aqueduc *ab* ; l'un de ces tubes *n* est placé dans le réservoir qui communique avec le bief d'aval et l'autre *m* dans le réservoir A qui communique avec le bief d'amont. Tous deux, du reste, débouchent dans le réservoir A par leur orifice supérieur. Le tube d'aval *n* a 1^m,48 de diamètre et 3^m,57 de hauteur, le tube d'amont *m* a 1^m,40 de diamètre et 2^m,97 de hauteur.

Quand ces tubes sont descendus sur leurs sièges, l'extrémité d'amont de l'aqueduc se trouve fermée. Si l'on soulève le tube d'amont *m*, l'eau du réservoir A et par suite l'eau du bief d'amont entre dans l'aqueduc *ab* ; si, au contraire, on soulève le tube d'aval *n*, l'eau du sas peut sortir de l'aqueduc et entrer dans le bassin d'épargne *cd*, ou inversement, suivant les niveaux respectifs du sas et du bassin.

Voici maintenant comment se fait la manœuvre :

S'agit-il de vider le sas, on soulève le tube d'aval ; les eaux du sas parcourent l'aqueduc et viennent en sortir sous ce tube pour entrer dans le bassin d'épargne supposé au niveau du bief d'aval. Après avoir tenu le tube ainsi soulevé pendant quelques secondes, pour donner à l'eau le temps de prendre sa vitesse, on le laisse retomber sur son siège ; l'eau de l'aqueduc, ne trouvant plus d'issue sous le tube, s'élève dans son intérieur, ainsi que dans l'intérieur du tube d'amont, et vient déverser à leur sommet dans le réservoir A qui communique avec le bief d'amont. Quand cette première oscillation a cessé de produire un déversement, on recommence la même manœuvre en soulevant de nouveau le tube d'aval ; une nouvelle colonne d'eau sort du sas ; puis on interrompt encore son écoulement sous le tube, et une nouvelle oscillation produit un nouveau déversement dans le bief d'amont. A mesure qu'on répète cette manœuvre, le sas se vide, partie dans le bassin d'épargne et de là dans le bief d'aval, partie dans le bief d'amont ; la différence de niveau qui détermine l'oscillation est donc de plus en plus faible, et par suite la hauteur de l'oscillation et la durée du déversement, à chaque nouvelle ouverture. Il arrive un

moment où l'eau que fait déverser une oscillation est insignifiante pour l'épargne; à ce moment on peut achever la vidange en ouvrant d'une manière continue le tube d'aval; mais, on peut aussi opérer autrement de manière à produire une nouvelle épargne : on ferme la vanne *v* qui fait communiquer le bassin d'épargne et le bief d'aval, et on lève le tube d'aval; il s'établit entre le bassin et le sas une grande oscillation en vertu de laquelle l'eau monte dans le bassin plus haut que le bief d'aval, et baisse dans le sas au-dessous de ce dernier bief; on baisse le tube d'aval à la fin de cette grande oscillation. On a ainsi enfermé dans le bassin d'épargne une tranche d'eau qui servira au remplissage suivant du sas, et on a produit dans le sas une dénivellation qui permet aux portes d'aval de s'ouvrir spontanément.

La tranche d'eau obtenue à l'Aubois par cette oscillation finale a été de 15 centimètres d'épaisseur.

S'agit-il de remplir le sas : on commence par employer la tranche d'eau emmagasinée dans le bassin d'épargne; pour cela, on soulève le tube d'aval *n*, et l'eau, étant plus élevée dans le bassin que dans le sas, s'y rend, en produisant une oscillation à la fin de laquelle le niveau est plus élevé dans le sas que dans le bassin, et plus bas dans celui-ci que dans le bief d'aval; de sorte que ce premier volume introduit dans le sas comprend non-seulement celui qui a été épargné pendant la vidange précédente, mais encore un autre pris sur le bassin d'épargne, c'est-à-dire sur le bief d'aval.

A la fin de cette oscillation initiale on laisse retomber le tube d'aval et l'on procède ensuite d'une autre manière.

On soulève le tube d'amont *m*, l'eau du bief d'amont entre dans l'aqueduc *ba* et se dirige vers le sas; quand au bout de quelques secondes elle a atteint sa vitesse, on laisse retomber le tube d'amont et on lève en même temps le tube d'aval; l'eau en mouvement dans l'aqueduc produit alors l'effet connu d'aspiration sur l'eau du bassin d'épargne qui a été remis en communication avec le bief d'aval, et l'entraîne par une oscillation dans le sas; de sorte que le volume entré dans ce dernier se compose d'une partie prise sur le bief d'amont pour engendrer la vitesse, et d'une partie prise sur le bief d'aval en utilisant cette vitesse. A la fin de l'oscillation on laisse retomber le tube d'aval, on relève le tube d'amont et une nouvelle oscillation ramène dans le sas un nouveau volume. On continue ainsi jusqu'à ce que l'affaiblissement de la chute entre l'amont et le sas ne donne plus que des oscillations insignifiantes; alors on maintient le tube d'amont soulevé et l'on achève ainsi le remplissage. Ce soulèvement prolongé produit lui-même une oscillation finale, en vertu de laquelle l'eau monte dans le sas plus haut que dans le bief d'amont, et fait ouvrir spontanément les portes d'amont.

L'écluse de l'Aubois, qui fonctionne depuis 1868, a permis de constater :

1° Que sept ou huit oscillations suffisent pour remplir ou vider le sas en cinq ou six minutes;

2° Que pour le remplissage, et sans se servir de la réserve du bassin d'épargne, le volume d'eau pris au bief d'aval est moyennement de 0,41. V, et que le volume pris au bief d'amont est moyennement de 0,59. V, en désignant par V le volume total introduit dans le sas : l'épargne de cette manœuvre est donc à peu près les $\frac{2}{5}$ de l'éclusée;

3° Que pendant la vidange le volume envoyé dans le bief d'amont est d'envi-

ron 0,586. V, et celui envoyé dans le bief d'aval de 0, 614. V, sans se servir de l'oscillation finale.

La somme des volumes épargnés dans les deux manœuvres est de

$$(0,41 + 0,586)V = 0,796.V.$$

En utilisant les grandes oscillations finales, l'épargne atteint 0, 90. V.

Le système d'écluse de M. de Caligny procure donc une grande épargne d'eau ; il constitue un ingénieux emploi des propriétés des liquides en mouvement.

Son application à l'Aubois a coûté environ 40,000 francs. Mais la disposition des lieux et la nature du sol ont présenté des difficultés particulières ; et c'est surtout à ces causes qu'il faut attribuer l'élévation de la dépense.

Néanmoins, bien que cette dépense puisse être réduite, elle sera toujours considérable si on l'applique à toutes les écluses d'un canal. Ces procédés exceptionnels doivent être réservés également aux cas exceptionnels, comme les écluses à grande chute.

Cependant, il faut reconnaître que l'usage des colonnes oscillantes facilite beaucoup la manœuvre des écluses, en forçant les portes à s'ouvrir d'elles mêmes à la fin de la dernière grande oscillation. Cette propriété a été reconnue après des expériences effectuées en Belgique par M. l'ingénieur Maus ; les bateaux avaient beaucoup de peine à pénétrer dans une écluse étroite, parce qu'ils formaient piston et comprimaient l'eau devant eux ; on établit un aqueduc à vanne mettant en communication la partie aval du sas avec le bief d'amont, et cela permit à l'eau refoulée de s'échapper facilement ; puis, on songea à profiter de cet aqueduc pour le remplissage du sas, et on s'aperçut qu'à la fin de l'opération une dénivellation se produisait entre l'intérieur du sas et le bief d'amont ; d'où une poussée suffisante pour donner naissance au mouvement d'ouverture des portes.

L'usage d'aqueducs de section et de longueur relativement grandes est, à ce point de vue, fort intéressant.

INFLUENCE DES ÉCLUSES SUR LA PUISSANCE DE TRAFIC D'UN CANAL

Les canaux, pas plus que les chemins de fer, ne sont capables de donner passage à une quantité indéfinie de marchandises.

Les chemins de fer à une voie, avec une exploitation parfaitement entendue, ont pu faire jusqu'à 40,000 francs de recette par kilomètre ; les chemins à deux voies ont une puissance beaucoup plus considérable qui, cependant, est sur certaines lignes arrivée à sa limite. Il en est de même des canaux, dont il importe de proportionner les éléments au trafic qu'ils ont à desservir.

Nous savons bien qu'il est difficile de fixer le trafic futur d'un canal à construire, car il ne suffit pas d'inventorier exactement les transports préexistants, il faut encore tenir compte de l'accroissement de transport qui résultera de la présence d'une voie facile et économique. En ces matières, il faut donc, comme

pour un tracé de chemin de fer, tenir compte des résultats obtenus sur des lignes voisines placées dans des conditions semblables.

Sur chaque canal, la fréquentation totale annuelle se répartit inégalement entre les divers mois; les glaces de l'hiver, les chômages de l'été et la plus grande difficulté de navigation dans la saison sèche en sont la cause. Voici, d'après M. Comoy, la répartition de la fréquentation annuelle du canal du Centre de 1845 à 1845 :

Janvier	0,055	Mai	0,137	Septembre	0,018
Février	0,047	Juin	0,125	Octobre	0,106
Mars	0,104	Juillet	0,106	Novembre	0,107
Avril	0,131	Août	0,000	Décembre	0,067

En juillet, août et septembre, il y a eu 60 à 80 jours de chômages.

La fraction maxima représentant la fréquentation diurnes c'est-à-dire le rapport entre le nombre des bateaux passant à une écluse en un jour et le nombre de bateaux passant sur le canal en un an, a été de 0,0055 au canal du Centre.

Pour une fréquentation annuelle de 600.000 tonnes, c'est une fréquentation journalière maxima de 3500 tonnes, ce qui, à 100 tonnes en moyenne par bateau, correspond au passage de 35 bateaux pleins à l'écluse, non compris les bateaux vides qui devront être à peu près aussi nombreux.

Étant admis que les dimensions et le tonnage des bateaux circulant sur un canal sont uniformes, la fréquentation du canal est évidemment limitée par le nombre des bateaux qui peuvent passer à une écluse en un jour.

L'intervalle entre les bateaux consécutifs est réglé par le temps qu'exige une éclusée. Si plusieurs bateaux se rejoignent et se présentent ensemble à une écluse, où ils passent un à un, ils sont évidemment séparés ensuite et placés à des intervalles égaux.

En disposant convenablement l'alimentation et la longueur des passages rétrécis, c'est donc la durée du passage aux écluses qui seule détermine l'intervalle régnant entre les bateaux qui marchent dans le même sens.

La vitesse de ces bateaux ne fait rien à l'affaire au point de vue du nombre qu'il peut en passer en un jour; les écluses sont comme des barrières qu'on placerait sur une route et qu'on n'ouvrirait que de demi-heure en demi-heure; quelle que soit la vitesse des voitures entre deux barrières consécutives, il n'en passerait toujours à chacune que 48 par 24 heures.

Une éclusée comporte dix opérations, savoir :

- 1° L'entrée du bateau montant,
- 2° La fermeture des portes d'aval,
- 3° Le remplissage de l'écluse.
- 4° L'ouverture des portes d'amont,
- 5° La sortie du bateau montant,
- 6° L'entrée du bateau descendant,
- 7° La fermeture des portes d'amont,
- 8° La vidange de l'écluse,
- 9° L'ouverture des portes d'aval,
- 10° La sortie du bateau descendant.

A ces dix opérations, il faut ajouter une autre cause de perte de temps inévitable dans la pratique :

11° La perte de temps résultant du défaut de coïncidence entre l'arrivée des bateaux et les manœuvres de l'écluse.

Un bateau descendant sortant de l'écluse, le bateau montant est arrêté à 60 mètres de là, il met 2 minutes $1/2$ à parcourir cette distance s'il est à charge et 1 minute $1/2$ à vide.

L'entrée du bateau montant dans le sas, sa sortie, et l'entrée du bateau descendant, durent chacune 2 minutes $1/2$ à charge et 1 minute $1/2$ à vide.

La sortie du bateau descendant chargé est plus longue; elle est de 3 minutes $1/2$ parce qu'il faut le temps de le mettre en mouvement.

On emploie en moyenne une demi-minute pour ouvrir ou fermer une paire de portes, soit d'amont, soit d'aval.

Une écluse a donc une durée totale de 18 minutes pour des bateaux pleins et de 11 minutes pour des bateaux vides, soit en moyenne 15 minutes, non compris le temps perdu, ni le temps qu'il faut pour remplir et pour vider le sas.

Le temps perdu par le défaut de coïncidence des manœuvres des bateaux est nécessairement très-variable, suivant l'importance de la circulation; l'inégalité de chute des écluses est la plus grande cause de temps perdu.

D'après M. Comoy, le temps perdu par chaque écluse sur des canaux à section moyenne est d'environ 6 minutes.

Le temps employé à remplir et à vider l'écluse est lui-même variable avec la chute; en théorie, on peut facilement proportionner les appareils d'écoulement à la chute de façon à remplir ou à vider le sas en un temps constant quelle que soit la hauteur; mais, en pratique, il y a une vitesse ascensionnelle du bateau qu'on ne peut dépasser sans danger. Ce qui conduit à reconnaître que la durée du remplissage ou de la vidange du sas est proportionnelle à la hauteur de chute.

Il faut compter au moins 1 minute $1/2$ pour remplir ou pour vider 1 mètre de hauteur de sas.

Pour une chute de 2 mètres, ce sera 6 minutes par écluse.

La moyenne de la durée totale d'une écluse doit donc être portée à 27 minutes; pour deux bateaux pleins, elle serait de 50 minutes.

Les écluses à faible chute sont plus avantageuses et permettent de faire passer un plus grand nombre de bateaux dans un canal donné.

M. Comoy a donné une formule exprimant la valeur de la circulation; désignons avec lui par :

T la durée quotidienne de la navigation,

t le temps perdu pendant l'entrée et la sortie des bateaux, pendant l'ouverture et la fermeture des portes, par le défaut de coïncidence entre l'arrivée des bateaux et la manœuvre de l'écluse,

t' le temps employé à remplir ou à vider moyennement un mètre de hauteur de sas,

x la chute de l'écluse en mètres,

N le nombre d'écluses faites par jour,

F la fréquentation ou le nombre des bateaux que l'on peut passer par jour, c'est le double de N .

La durée totale d'une écluse est

$$(t + 2t'x)$$

donc on a la relation :

$$N = \frac{T}{t + 2t'x} \quad \text{et} \quad F = \frac{2T}{t + 2t'x}$$

Nous avons vu que t est égal à 21 minutes et t' à 1 minute $1/2$; s'il n'y a pas de circulation de nuit, la durée moyenne de T est de 12 heures ou de 720 minutes et la fréquentation s'exprime par

$$F = \frac{1440}{21 + 5x}$$

Dans cette formule, si on donne à la chute x les valeurs suivantes :

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

on trouve une fréquentation de :

64 60 56,5 53,5 50,5 48 45,7 43,6 bateaux.

Ces chiffres indiquent bien l'influence de la chute des écluses sur la fréquentation.

En supposant une chute nulle, on trouve :

$$E = \frac{2T}{t} = \frac{1440}{21} = 70.$$

Ainsi, la circulation, dans un sas sans chute, mais muni de deux paires de portes, ne pourrait être supérieure à 70 bateaux en douze heures.

D'autre part, des chutes de 0^m,50 ne sont guère en usage; généralement la chute est voisine de 2 mètres, ce qui correspond à une circulation diurne de 45 bateaux.

Dans le cas où on aurait à satisfaire à une circulation plus considérable, il faudrait nécessairement installer un service de nuit, ou construire des écluses accolées deux à deux.

C'est ce qu'on a fait sur certains canaux d'Amérique, et bien qu'il soit plus avantageux au point de vue du temps de faire passer par chaque écluse alternativement un bateau montant et un bateau descendant, puisqu'on utilise alors le remplissage du sas, on a généralement réservé une des écluses aux bateaux montants et l'autre aux bateaux descendants; on évite ainsi les croisements de bateaux aux abords, et il n'y a pas de confusion.

Le temps employé dans ce cas pour l'entrée et la sortie d'un bateau, pour l'ouverture et la fermeture des portes, et par le défaut de coïncidence entre l'arrivée du bateau et la manœuvre de l'écluse n'est plus de 21 minutes, mais de 10 minutes. La formule de la fréquentation s'écrit

$$F = \frac{1440}{10 + 5x}$$

qui pour des chutes de

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

donne des nombres de bateaux égaux à :

125 110,7 99,5 90 82,5 75,8 70,2 65,5.

Avec le passage alternatif des bateaux dans les écluses, les chiffres de circulation seraient le double de ceux qui conviennent à une écluse simple.

La dépense de construction des écluses doubles sera souvent supérieure à la somme que représente l'établissement d'une navigation de nuit ; les frais de traction pour la navigation de nuit sont presque le double de ceux de la navigation de jour.

INCONVÉNIENTS DES PASSAGES RÉTRÉCIS DES CANAUX

Dans les parties où il serait trop coûteux de conserver la largeur de double voie, on a adopté sur bien des canaux anciens des sections réduites, qui sont une grande gêne pour la navigation et diminuent considérablement la puissance de trafic du canal.

Ces sections, dans lesquelles la largeur est réduite à peu près à la largeur des écluses, sont : les ponts par-dessus, les grands ponts aqueducs, les tranchées profondes et les souterrains.

Ainsi que l'a fait remarquer M. Comoy, notre guide en cette étude, il faut faire une distinction entre les passages rétrécis de grande longueur, qui sont très-rares, et les passages rétrécis de faible longueur, tels que les ponts par-dessus, qui sur certains canaux sont très-multipliés.

Passages rétrécis de faible longueur. — Au passage des ponts par-dessus à section rétrécie, deux inconvénients se manifestent lorsque l'eau n'est animée d'aucune vitesse : 1° diminution de vitesse du bateau résultant de l'augmentation du frottement ; 2° nécessité d'arrêter un des bateaux lorsqu'il s'en présente deux à la fois.

1° La diminution de vitesse du bateau est peu de chose, lorsqu'il s'avance réellement en eau calme.

2° La perte de temps due à l'arrêt d'un bateau n'est pas considérable et peut être réduite à cinq minutes. Dans un canal ayant une circulation très-active de 20 à 30 bateaux par jour, les croisements ne seront pas nombreux et encore ne se produiront-ils qu'exceptionnellement au passage des ponts. C'est donc une considération de faible importance.

Elle ne suffirait pas seule à expliquer la nécessité où l'on s'est trouvé fréquemment de recourir à des ponts laissant libre une double largeur de voie.

Il y a une autre raison : c'est que dans beaucoup d'anciens canaux l'alimentation est mal comprise, les prises d'eau desservent de grandes longueurs au lieu d'amener les eaux à l'endroit même où elles sont utiles ; il en résulte que certains biefs sont parcourus, notamment lors des basses eaux, par des courants de vitesse notable.

Supposez sous un pont rétréci un débit de 0^m,50 à la seconde, ce pont ayant

un débouché mouillé de 5^m,20 sur 4^m,60 ou de 8^m,50, il en résultera une vitesse moyenne de 0^m,06; mais, un bateau se présentant avec une section de 6^m,50, il ne reste plus que 4^m,80 pour l'écoulement et la vitesse atteint 0^m,28. D'où une grande gêne pour le halage.

Si le tirement d'eau est plus considérable, le halage devient impossible et on s'est vu forcé de recourir à des treuils pour le passage de certains ponts.

Conclusion : les passages rétrécis de faible longueur ne présentent d'inconvénients sérieux que là où peuvent se manifester des courants d'une certaine vitesse, c'est-à-dire lorsque l'alimentation du canal est mal combinée. Avec des prises d'eau convenablement espacées, l'inconvénient disparaît, pourvu que les abords du pont soient bien aménagés et les banquettes de halage faciles à parcourir.

Passages rétrécis de grande longueur. — Parmi ces passages il faut compter : 1° les grands ponts-aqueducs ; 2° les tranchées ; 3° les souterrains.

1° Lorsque le pont-aqueduc dépasse une certaine longueur, on est forcé de faire passer les bateaux dans chaque sens par convois; une gare ménagée entre le pont et l'écluse d'aval est donc peu utile dans ce cas. Elle sera au contraire très-utile lorsqu'on pourra faire passer les bateaux dans l'ordre où ils se présentent, et faire servir l'écluse d'un bateau montant à la descente d'un bateau avalant. Cela dépend encore de la question de savoir si un bateau pourra circuler sur le pont-aqueduc pendant qu'on remplit l'écluse d'aval; ce remplissage détermine un tirement d'eau qui va jusqu'à 2^m,50 par seconde; si la section de la bêche diffère peu de celle d'un bateau, il se produira un courant violent qui s'opposera à ce qu'un bateau stationne sur le pont-aqueduc pendant le tirement d'eau. Il ne faut donc pas craindre de ménager à la bêche des grands ponts-aqueducs suivis d'une écluse, une largeur supérieure de 2 mètres au moins à celle des bateaux.

Admettons qu'il en soit ainsi et qu'une gare soit ménagée entre le pont-aqueduc et l'écluse d'aval; la durée d'une écluse se décompose comme il suit :

Entrée du bateau montant.	4 minutes.
Remplissage de l'écluse.	7 —
Sortie du bateau montant.	4 —
Entrée du bateau descendant.	4 —
Vidange de l'écluse.	7 —
Sortie du bateau descendant.	4 —
Total.	50 —

C'est le temps qui s'écoule entre l'entrée dans l'écluse de deux bateaux descendants consécutifs; pour éviter tout temps perdu, il faut que pendant ces 50 minutes le bateau montant précédent ait parcouru tout le passage rétréci, et que le bateau descendant l'ait descendu afin d'arriver à la gare. Mais, les bateaux ne pouvant que stationner et non avancer sur le pont-aqueduc pendant le tirement d'eau, c'est 25 minutes seulement de disponibles. La vitesse des bateaux ne dépassant pas 20 mètres à la minute, la longueur maxima du pont-aqueduc sera de 250 mètres. Si ce chiffre est dépassé, il faudra substituer la circulation par convois à la circulation libre.

Il n'est pas inutile de faire remarquer combien est défectueuse la circulation par convois, qui consiste à réunir entre eux à chaque écluse des bateaux qui, s'ils continuaient leur marche aussitôt après le passage, seraient espacés de

quelques centaines de mètres et gagneraient ainsi un temps considérable dans le parcours entier du canal.

2^o Les tranchées se rencontrent généralement au point de partage; il ne s'y produit pas de courant si l'on a soin de faire déboucher les prises d'eau alimentaires aux deux extrémités du bief de partage, c'est-à-dire là où le liquide doit être consommé. Cependant, au canal de la Marne au Rhin, la rigole de la Sarre débouche au milieu du bief de partage, le tirage d'eau produit vers les écluses de ce bief une dénivellation et un courant qui pourraient rendre la circulation impossible s'il existait une section rétrécie.

On peut dans les tranchées ménager des gares d'évitement; comme les bateaux ne se suivent qu'à la distance qui correspond à la durée d'une éclusée, il suffira de ménager dans les tranchées des gares d'évitement tous les 600 mètres, puisqu'une éclusée complète dure une demi-heure, et que les bateaux parcourent 1200 mètres à l'heure.

Quant aux tranchées qui se trouvent sur les versants, elles sont la cause d'une gêne considérable lorsqu'elles doivent livrer passage aux eaux d'alimentation d'une partie de la section d'aval. Il faut tout faire pour supprimer cet état de choses lorsqu'il se présente.

3^o Les souterrains sont pour ainsi dire toujours situés aux biefs de partage; à cause de l'obscurité, ils ne se prêtent guère à l'établissement des gares, à moins que ces gares ne puissent être faites à ciel ouvert. Ils exigent donc la navigation par convois, chose des plus défectueuses comme nous l'avons dit, puisqu'elle force à réunir des bateaux que le passage de chaque écluse sépare nécessairement.

Nous avons vu, en traitant du halage dans le chapitre I, 1^{re} partie, toutes les difficultés qu'entraîne la circulation des bateaux dans les souterrains étroits; il faut donc les éviter autant que possible, bien qu'on soit arrivé à atténuer ces difficultés en installant des systèmes de touage mécanique.

CHAPITRE II

DES ÉCLUSES A SAS

GÉNÉRALITÉS SUR LES ÉCLUSES

Description d'une écluse à sas. — En langage ordinaire, le mot écluse (du latin *exclusa aqua*) s'entend des barrages mobiles qui constituent les retenues d'usine sur les petites rivières. En navigation, on n'emploie que l'écluse à sas, dont les figures 1 et 2 de la planche XXXII représentent les dispositions générales.

Une écluse à sas se compose de deux écluses simples A et A' entre lesquelles se trouve le sas.

L'écluse à sas est limitée latéralement par deux murs qu'on appelle *bajoyers* ou *bas-joyers*.

L'intervalle entre les bajoyers est la largeur de l'écluse; dans les canaux, elle est égale à la largeur maxima des bateaux, plus un certain jeu de chaque côté. Quelquefois, les écluses ont une largeur suffisante pour permettre le passage de deux bateaux de front.

Si on descend une écluse de l'amont à l'aval, on rencontre les parties suivantes :

1° L'angle d'amont ne se termine pas par une arête vive que le choc des bateaux briserait certainement; on le remplace par une partie arrondie, par une tour ronde de 0^m,50 de rayon.

2° En *bb* on voit des *coulisses* ménagées pour recevoir une série de poutrelles horizontales superposées; on met ces poutrelles en place lorsqu'on veut isoler le sas et épuiser l'eau qu'il contient pour réparer soit les portes, soit le radier. Les coulisses d'aval *qq* complètent l'isolement.

Entre la tour ronde et les coulisses on ménage une partie verticale de 0^m,10 à 0^m,20; sans cela, on obtiendrait une pierre présentant du côté de la coulisse une sorte d'angle aigu susceptible de se rompre sous les chocs.

Les dimensions des poutrelles se calculent facilement suivant la charge d'eau qu'elles doivent supporter.

Dans les grandes écluses on dispose souvent deux coulisses à chaque tête; ces deux coulisses sont espacées à 1^m,40; entre les deux files de poutrelles on comprime de la glaise afin de former un batardeau à l'abri duquel on pourra épuiser.

5° Entre les coulisses *b* et l'enclave *cd*, il faut une largeur suffisante pour empêcher la pierre de se rompre sous l'effort tranchant horizontal que les poutrelles lui transmettent. C'est évidemment la poutrelle inférieure, c'est-à-dire la plus chargée, qu'il faut prendre comme la base du calcul. La distance entre la coulisse et l'enclave n'est jamais inférieure à 0^m,50 ou 0^m,60.

4° L'enclave *cd*, qui fait suite au mur de défense *bc*, est destinée à recevoir une des portes d'amont, lorsque le passage est ouvert. La profondeur de l'enclave doit être telle que la porte s'y trouve bien à l'abri du choc des bateaux; il faut donc qu'elle soit en arrière du plan vertical du bajoyer. On admet en général un retrait de 0^m,10. De même la longueur *cd* de l'enclave est déterminée par la longueur de la porte, augmentée de 0^m,05 à 0^m,10; ce jeu est nécessaire pour livrer passage à l'eau que la porte refoule lorsqu'elle vient se loger dans l'enclave.

5° Entre les deux enclaves *cd* s'étend la chambre des portes, limitée à l'amont au mur de garde *s* et à l'aval au *busc ded*.

6° Le passage est fermé par une paire de portes, dont l'axe vertical de rotation est aux points *d*; ces deux portes ont chacune une largeur supérieure à la demi-largeur de l'écluse; elles viennent donc, lorsqu'elles sont fermées, buter l'une contre l'autre au point *e*. C'est ce qu'on appelle un système de *portes busquées*. Il va sans dire que, sur les canaux à voie étroite, on n'adopte pas ce système et on se contente d'une porte unique. Par leur base les portes s'appuient contre un chevron saillant en maçonnerie que l'on appelle le *busc*; dans une feuillure que le *busc* présente est logé le *faux busc ded* qui se compose de deux poutres horizontales sur lesquelles viennent s'appuyer les parties inférieures des portes.

L'axe vertical de rotation d'une porte est déterminé par un *pivot* situé à la base du *poteau tourillon*; ce pivot tourne dans une *crapaudine* métallique, laquelle est solidement scellée dans une pierre spéciale de grande dimension appelée *bourdonnière*. Le poteau tourillon est en outre guidé à sa partie supérieure par un *collier* en fer solidement fixé dans la maçonnerie des bajoyers.

7° On comprend que la partie aval *d* de l'enclave ne peut être limitée à une surface quelconque; cette surface doit être telle qu'elle ne s'oppose pas à la rotation du poteau tourillon et qu'elle ne laisse point de vide entre la porte et la maçonnerie, lorsque la porte est fermée. Cette partie aval *d* doit donc être l'objet d'une taille particulière; cette partie porte le nom de *chardonnet*.

8° Le *busc* en maçonnerie fait saillie sur le plafond de la chambre des portes; il se termine à l'aval à un arc de cercle *gfh* et est appareillé en forme de voûte afin de résister à tous les efforts qu'il peut avoir à supporter. L'arc de cercle *gfh* sert de directrice à un parement cylindrique vertical, représenté en coupe médiane par *fk*; c'est le *mur de chute* destiné à racheter la différence de niveau entre le plafond du canal à l'amont de l'écluse et le plafond du canal à l'aval.

9° C'est après le mur de chute que commence la partie utile du sas, laquelle se termine à l'angle du *busc* d'aval. Le *sas*, compris entre les deux bajoyers est terminé par un radier en arc de cercle. Cette forme est en rapport avec la section transversale des bateaux, elle permet de renforcer le pied des bajoyers et d'appareiller le radier du sas en forme de voûte renversée, ce qui lui donne une plus grande solidité.

10° Le radier du sas est séparé de la chambre des portes d'aval, laquelle est à fond plat, par un mur de garde *p*.

11° On voit en *mn* les enclaves des portes d'aval, en *non* le busc et le faux busc d'aval.

12° Après le busc, vient le mur de fuite *nq* de la tête d'aval; la longueur de ce mur de fuite doit être telle que la maçonnerie résiste sans rupture à la poussée que lui transmettent les portes d'aval. Le mur de fuite comporte des coulisses *q* et se termine en plan par un quart de rond comme la tête d'amont.

Les têtes d'amont et d'aval sont généralement limitées à des *murs en retour*.

Le plafond du canal, à l'aval de l'écluse, est perreyé sur une certaine longueur pour résister aux courants qui s'échappent des ventelles des portes.

Cette description générale étant faite, nous allons passer à l'examen détaillé des diverses parties, en laissant toutefois de côté les portes qui feront l'objet d'une étude spéciale.

Dimensions des coulisses et poutrelles. — Les coulisses sont destinées à recevoir une série de poutrelles horizontales superposées, qui forment barrage. Si l'on veut obtenir un barrage bien étanche permettant d'épuiser facilement le sas et d'y travailler à sec, on doit accumuler en avant des poutrelles un massif de terre glaise qui prend son talus naturel et forme batardeau.

Pour plus de commodité, dans les hautes écluses de rivière, on dispose deux coulisses écartées de 1 à 1^m,50; entre les deux files de poutrelles on pilonne de la glaise et on constitue ainsi un batardeau.

Ce moyen peut suffire à la rigueur pour des écluses d'une largeur allant jusqu'à 12 mètres : si la largeur augmente encore, les poutrelles ne peuvent plus résister à la charge, à moins qu'on ne les soutienne en un point de leur portée, ce qui se fait au moyen de pièces inclinées prenant leur appui sur les bajoyers ou sur le radier.

Dans les longues écluses, on a des coulisses en amont et en aval de chaque paire de portes; la chambre d'amont et la chambre d'aval peuvent ainsi être visitées et épuisées séparément, sans qu'il soit besoin à chaque fois de vider toute la capacité du sas.

On calculera sans peine la dimension de la poutrelle inférieure qui est la plus chargée. Exemple : Calculer la largeur d'une poutrelle de 0^m,20 de hauteur destinée à une écluse de 5^m,20 de large et capable de supporter une charge de 2 mètres d'eau.

La poutrelle inférieure supportera une charge de 400 kilogrammes par mètre courant; on peut la supposer encastrée à ses extrémités, pourvu que la coulisse soit assez profonde et ait une largeur peu supérieure à celle des poutrelles.

Dans ces conditions, il y a à appliquer la formule de résistance :

$$(1) \quad \frac{2RI}{h} = \frac{pl^2}{16}$$

formule établie à la page 26 du *Traité des ponts en charpente* et dans laquelle

$$p = 400 \quad l = 5,20.$$

Le bois qu'on emploie peut travailler par exemple à un effort de 100 kilogrammes par centimètre carré ou de 1 million de kilogrammes par mètre carré. Donc *R* est égal à 1 000 000. De plus, le moment d'inertie de la section de la

poutrelle est de $(\frac{4}{3}bh^3)$, formule dans laquelle b est la hauteur égale à 0^m,20, et h la dimension horizontale.

Si l'on porte ces quantités dans la formule (1), on trouve pour h la valeur 0^m,14.

Si, au contraire, on s'était donné la dimension horizontale des poutrelles, égale par exemple à 0^m,20, on eût trouvé pour la hauteur de la poutrelle inférieure la valeur 0^m,101.

La profondeur de la coulisse est au moins égale à sa largeur, c'est-à-dire à la largeur des poutrelles : 0^m,20 à 0^m,40.

Mur de défense d'amont. — La longueur du mur de défense compris entre la coulisse et l'enclave doit être telle que la pierre qui le compose résiste à l'effort transmis par la poutrelle la plus chargée.

Cette pierre travaille comme une pièce libre à un bout et encastrée à l'autre ; on la calculera donc comme on calcule une dent d'engrenage

Exemple : Dans le cas du paragraphe précédent, l'effort tranchant transmis à la coulisse par la poutrelle inférieure de 0^m,20 de hauteur est de 2,6 fois 400 kilogrammes, ou de 1040 kilogrammes. — Pour 1 mètre de hauteur de la coulisse, cet effort P serait 5 fois plus grand ou de 5200 kilogrammes.

Admettons que la coulisse ait une profondeur de 0^m,20, le mur de défense peut être considéré comme une pièce encastrée dont la longueur l est précisément égale à 0^m,20 et dont il faut calculer la largeur h en recourant à la formule

$$\frac{2RI}{h} = P.l \quad \text{ou} \quad \frac{Rbh^3}{5} = P.l$$

La tranche considérée ayant 1 mètre de hauteur, b est égal à 1 ; supposons que la pierre puisse travailler à la traction à 2 kilogrammes par centimètre carré, ou à 20 000 kilogrammes par mètre carré, la formule précédente nous donnera pour la valeur de h ... 0^m,16.

La pierre qui travaille à la traction est dans de mauvaises conditions, et il ne faut la soumettre qu'à de très-faibles efforts. Le basalte d'Auvergne se rompt par extension sous une charge de 77 kilogrammes par centimètre carré, le calcaire compacte sous une charge de 32 kilogrammes et la brique de bonne qualité sous une charge de 18 à 20 kilogrammes. Si l'on adoptait le coefficient de sécurité de $\frac{4}{10}$, on voit qu'il faudrait se restreindre à de faibles valeurs de R .

La profondeur de la coulisse est généralement supérieure à 0^m,20 ; elle va jusqu'à 0^m,60 pour les écluses ordinaires de rivière.

Enclave. — La profondeur des enclaves est déterminée par l'épaisseur des portes, à laquelle on ajoute 0^m,05 ou 0^m,10 pour mettre la porte repliée à l'abri du choc des bateaux.

L'angle amont des enclaves est droit ; l'angle aval a le profil du *chardonnet* que nous allons construire tout à l'heure.

Dans le type d'écluse que nous avons représenté, nous avons supposé que le radier commençait par un mur de garde en saillie sur le plafond de la chambre des portes d'amont. Généralement cette saillie, qui expose la chambre des portes à l'envasement, n'existe pas et le plafond est un même plan horizontal entre la tête d'amont et le busc.

Chardonnet. — Le chardonnet est le profil horizontal qui sert de directrice

à la surface courbe verticale par laquelle se terminent les enclaves à l'aval. L'épure du chardonnet est la construction de ce profil.

Il doit être tel que les portes fermées s'appliquent sur une certaine longueur de la maçonnerie de l'enclave, de manière à n'offrir à l'eau aucun passage; il doit être tel en outre que le mouvement de rotation du poteau tourillon se fasse librement et sans frottement contre les maçonneries.

Ancienne disposition du chardonnet. — La disposition la plus simple qui se présente à l'esprit pour le chardonnet, disposition adoptée dans les anciennes écluses, est celle que représente la figure 2 planche XXXIII.

Le poteau tourillon se termine par une portion de cylindre vertical abc dont l'axe est en o ; cet axe coïncide avec l'axe de rotation et le chardonnet est taillé suivant une surface cylindrique enveloppant le poteau tourillon.

La porte fermée s'appuie sur l'enclave par une certaine longueur de maçonnerie cd et cette surface de portée est dans la direction même du busc.

Lorsqu'on ouvre la porte m , le poteau tourillon tourne à frottement plus ou moins doux dans la maçonnerie du chardonnet avec laquelle il reste en contact et lorsque la porte est ouverte elle occupe la position pointillée n .

Pour faciliter le dégagement de l'eau que refoule la porte en s'ouvrant, elle doit, lorsqu'elle est arrivée en n se trouver à une certaine distance de la paroi du fond de l'enclave. C'est pourquoi le chardonnet se raccorde avec cette paroi du fond au moyen d'un ressaut ef .

On remarque en outre que l'angle d de l'enclave ne se termine pas par une arête vive; quelle que soit l'épure du chardonnet, l'arête vive est remplacée par un arc de cercle de $0^m,05$ de rayon. De la sorte, on ne risque pas de voir les pierres de taille s'épaissir sous la pression.

Cette ancienne disposition du chardonnet offre le grave inconvénient de ne pas supprimer le frottement pendant le mouvement, frottement qui peut devenir considérable surtout si la porte éprouve quelque déformation. Cet inconvénient a conduit à rejeter la disposition malgré sa simplicité.

Disposition ordinaire du chardonnet. — Le chardonnet est ordinairement disposé comme le montre la figure 5 de la planche XXXIII.

Considérons la porte appuyée sur le busc, sa ligne médiane se projette sur la droite ab et son poteau tourillon cylindrique est en contact avec le chardonnet edb . Le centre commun de la section horizontale du poteau et de la section horizontale du chardonnet est en g . Ce centre ne se confond pas avec le centre de rotation, ainsi que nous le verrons tout à l'heure.

Considérons maintenant la porte dans l'enclave, sa ligne médiane se projette sur la droite cd .

Les deux lignes médianes, ab et cd se croisent au point m ; menons la bissectrice de leur angle obtus cmb opposé au sas, et prenons sur cette bissectrice un point o .

Du point o abaissons des perpendiculaires og et on sur ab et cd . On prendra le point g comme centre des sections horizontales du poteau tourillon et du chardonnet lorsqu'ils sont en contact.

Supposons ce contact établi, c'est-à-dire la porte appuyée contre le busc et mettons-la en mouvement pour la ramener dans l'enclave. Tous les points de la figure tournent autour du point o d'un angle égal à amc ; en particulier le point g vient en n , le point b en b' , et le point e en e' . La porte occupe alors la position indiquée en pointillé sur la figure.

Dès l'origine du mouvement de rotation, le poteau tourillon a cessé d'être

en contact avec le chardonnet ; il s'en est sans cesse éloigné et par conséquent le frottement à vaincre a été réduit au frottement du pivot dans la crapaudine et du collier qui maintient la partie supérieure de la porte.

Le problème que nous nous étions posé est donc résolu.

L'explication précédente laisserait à supposer que le centre de rotation o est pris au hasard sur la bissectrice de l'angle cmb ; il n'en est rien. — Le centre de gravité de la porte n'est pas sur sa ligne médiane ; il est toujours plus rapproché de la face d'amont que de la face d'aval, parce que sur la face d'amont on trouve le bordage, les ventelles, la passerelle qui n'existent pas sur la face d'aval ; on détermine d'une manière approximative le plan vertical qui contient le centre de gravité et on place le point o à la rencontre de ce plan vertical et de la bissectrice de l'angle des lignes médianes.

Cette position est avantageuse pour l'axe de rotation, car elle évite les porte à faux latéraux et empêche la tendance de la porte au déversement.

L'écart du centre de gravité en avant de la ligne médiane n'est généralement pas considérable ; il est souvent réduit à $0^m,01$ et dépasse rarement $0^m,04$ à $0^m,05$.

La partie circulaire du chardonnet est arrêtée au point où la rencontre la parallèle oh au busc, menée par le centre de rotation.

Quant au fond de l'enclave, qui doit être à $0^m,10$ en arrière de la porte complètement ouverte, on le raccorde par un quart de rond ou par une courbe tangentielle avec l'extrémité ci-dessus déterminée de la partie circulaire du chardonnet.

Chardonnet pour portes métalliques. — Avec les portes métalliques, il n'est pas commode d'obtenir un contact étanche de la maçonnerie et du métal. On est forcé d'interposer des fourrures en bois, ce qui change les conditions de l'épure du chardonnet.

La figure 4 de la planche XXXIII représente une disposition adoptée dans ce cas. Soit ab et cd les lignes médianes de la porte dans ses deux positions extrêmes ; l'axe de rotation correspond au point de rencontre m de ces deux axes. Le poteau tourillon n'est plus terminé circulairement, mais profilé suivant une courbe elliptique, de manière à porter par la ligne verticale b sur une surface plane ef dont la direction est normale à l'effort que la butée des portes transmet à la maçonnerie, effort que nous déterminerons ultérieurement.

Sur la face aval de la porte est fixée une fourrure en bois F , qui s'appuie sur la maçonnerie par une portée d'au moins 20 centimètres, largeur nécessaire pour constituer une fermeture étanche.

Dès que la rotation commence, la porte abandonne l'arête en maçonnerie b et tout frottement contre la maçonnerie disparaît.

Les conditions du problème sont donc aussi réalisées.

Mais il faut remarquer que cette solution a l'inconvénient d'augmenter la profondeur de l'enclave d'une quantité égale à l'épaisseur de la fourrure F .

Si cette fourrure à $0^m,10$ d'épaisseur, qu'on veuille la mettre à $0^m,10$ en arrière du plan des bajoyers et qu'on veuille en outre laisser $0^m,10$ de jeu derrière la porte fermée, la profondeur de l'enclave sera supérieure de $0^m,50$ à l'épaisseur de la porte. Avec une porte de $0^m,40$, cela fera une enclave profonde de $0^m,70$.

Dimensions du busc. — Les deux principales dimensions du busc sont le rapport de sa flèche à sa corde et la saillie qu'il fait sur le plafond de la chambre des portes.

Les anciens constructeurs adoptaient pour le rapport de la flèche à la demi-corde du busc la fraction $\frac{1}{3}$ ou $\frac{1}{4}$; pour bien assurer la butée des portes il ne faut pas que ce rapport soit trop faible; d'autre part, il ne faut pas qu'il soit trop fort parce qu'il conduirait à des largeurs de porte coûteuses et exagérées.

Sur la haute Seine, la flèche est de 4^m,50 pour une demi-ouverture d'écluse égale à 6 mètres; cela fait un rapport de $\frac{1}{4}$ correspondant à un angle de 14° 2'10".

Sur la Marne, la flèche est de 4^m,50 pour une demi-ouverture d'écluse égale à 5^m,90; cela fait un rapport de 0,58 correspondant à un angle de 21° 2'45".

Au canal de la Marne au Rhin, la flèche est 0^m,90, la demi-ouverture de l'écluse 2^m,60; d'où résulte un rapport de 0,54615 correspond à un angle de 19° 6'18".

Quant à la saillie du busc sur le plafond de la chape des portes, elle doit être d'autant plus considérable que l'ouverture de l'écluse et par suite la largeur des portes sont plus grandes. En effet, les grandes portes demandent à s'appuyer sur une surface plus étendue; elles sont plus exposées à se déformer et à baisser du nez, c'est-à-dire à s'affaisser du côté du poteau busqué. Il faut donc en tenir l'entretoise inférieure à une hauteur plus grande au-dessus du radier.

Jusqu'à l'ouverture de 5^m,20, on limite la saillie du busc à 0^m,20; jusqu'à 8 mètres, on admet 0^m,25 et jusqu'à 12 mètres, 0^m,30.

Le busc est construit en pierres de taille, appareillées comme les claveaux d'une voûte en berceau dont l'intrados horizontal est représenté par l'arc de cercle qui limite le mur de chute. Ces pierres de taille doivent être encastrées dans le radier de 0^m,40 à 0^m,45, ce qui, pour une saillie du busc de 0^m,20, leur donne une hauteur totale de 0^m,60 à 0^m,65.

Le dernier claveau du busc forme la base du chardonnet; sa face supérieure n'est pas dans le plan horizontal du busc, mais à 0^m,05 au-dessus, afin qu'il n'y ait pas de joints à la ligne séparative du bajoyer et du radier. Ce dernier claveau est une pierre spéciale, qui doit être choisie et appareillée avec le plus grand soin : c'est celle que l'on appelle la *bourdonnière*.

Busc découpé. — Le busc fait une saillie sur le plafond de la chambre des portes; on peut craindre dans certains cas de voir un envasement se produire à l'amont de la saillie. Il est à remarquer que les mouvements des portes mettent sans cesse la vase en mouvement, et que celle-ci ne peut guère séjourner et s'agglomérer dans la chambre. Quelquefois cependant on s'est préoccupé d'un envasement possible, et on a adopté des buscs découpés, analogues à celui que représente la figure 5 de la planche XXXII.

Comme on est forcé, pour éviter le frottement, de laisser un certain jeu entre le dessous de la porte et le radier, les buscs découpés ont l'inconvénient de donner lieu à des pertes d'eau continues, qui sont indifférentes sur une rivière, mais qui ne seraient pas admissibles sur un canal.

Du mur de chute. — Le mur de chute est cette voûte à intrados cylindrique vertical qui relie le plafond de la chambre d'amont avec le radier du sas.

Dans un canal, si le plafond de la chambre d'amont est au même niveau que le plafond du canal dans le bief qui précède l'écluse, la hauteur du mur de chute est précisément égale à la chute de l'écluse. Mais il en est rarement ainsi; il peut arriver qu'on ait avantage pécuniaire à supprimer le mur de chute et à placer le plafond de la chambre d'amont au niveau du radier du sas. Dans

ce cas, le mur de chute est supprimé, mais les portes d'amont sont plus élevées et prennent une hauteur égale à celle des portes d'aval; les bajoyers de la chambre d'amont s'allongent également, les fouilles augmentent de volume. Il faut voir si la suppression du mur de chute compense cet accroissement de dépense.

Il va sans dire que si le mur de chute est supprimé ou diminué, le plafond d'amont de l'écluse se raccorde par un plan incliné avec le plafond du bief d'amont du canal.

On s'arrange généralement de telle sorte que le mur de chute ne dépasse pas sensiblement le niveau du bief d'aval; sans cela, l'eau qui s'échappe des ventelles d'amont vient jaillir sur les bateaux montants et cause une grande gêne.

On remarquera encore que la suppression du mur de chute facilite la manœuvre des bateaux dans le sas, ils ne risquent plus de venir s'appuyer sur le mur de chute dans leur mouvement descendant. L'absence du mur de chute permet en conséquence d'augmenter la longueur utile du sas, ou, à longueur utile égale, de diminuer la longueur totale de l'écluse.

Ce sont ces considérations qui, dans les divers cas, pourront guider le constructeur.

Les écluses en rivière ne comportent jamais de mur de chute; celui-ci est inutile, et même sa présence nuirait à l'écoulement des grandes eaux.

Du sas. — Trois choses sont à considérer dans les sas: le radier, la forme en plan et la forme du profil en travers.

On donne au radier un profil de voûte renversée, et cela pour plusieurs raisons; cette forme se rapproche de celle des bateaux, économise la profondeur au pied des bajoyers, augmente la solidité, et permet au radier de résister aux sous-pressions qui peuvent se produire dans des terrains perméables. Il ne faut cependant pas attacher à cette disposition de voûte renversée une importance exagérée; ainsi, il est inutile de tailler la dernière assise du bajoyer suivant un plan incliné normal au dernier élément du radier. Il va sans dire que le radier courbe ne règne que depuis le pied du mur de chute jusqu'à l'origine de la chambre des portes d'aval. Celle-ci est quelquefois précédée d'un mur de garde, mais il paraît peu utile.

Aujourd'hui le sas a toujours, en plan, la forme rectangulaire, c'est-à-dire une largeur constante. Il n'en a pas toujours été ainsi, et il convient de rappeler les formes anciennes pour en montrer les inconvénients.

« On a donné, dit Gauthey, aux sas des écluses du Languedoc une forme ovale, par la raison sans doute que les murs des bajoyers étant en ligne courbe, dont la partie convexe est opposée à la poussée des terres, ils en ont plus de force pour résister à cette poussée; mais, comme d'un autre côté il en résulte une augmentation dans la dépense des constructions et surtout dans la quantité d'eau nécessaire pour chaque éclusée, il est important d'examiner si, en voulant éviter un inconvénient, on n'en a pas fait naître un plus grand. »

En effet, avec ces écluses, la consommation d'eau est les $\frac{3}{5}$ de celle que donnerait une écluse rectangulaire de même embouchure. C'est une considération très-grave au point de vue de l'alimentation. De plus, la forme courbe, tout en permettant peut-être une certaine diminution dans l'épaisseur de la maçonnerie des bajoyers, augmente le développement des bajoyers et surtout augmente beaucoup les difficultés de construction (fig. 4, pl. XXXII).

Citons encore une écluse circulaire construite sur le canal du Midi: la

branche A (fig. 5, pl. XXXII), communique avec l'Hérault, la branche B vient de Béziers et la branche C s'en va dans le port d'Agde. Le niveau ordinaire de A étant pris comme plan de comparaison, le niveau de la branche B est 0^m,52 plus bas et celui de la branche C 1^m,72 plus bas. D'après ces niveaux respectifs, les têtes A et C n'ont besoin que d'une paire de portes; mais il en faut deux à la tête B, qui joue tantôt le rôle de tête d'amont, tantôt le rôle de tête d'aval. L'écluse est circulaire en plan, afin de permettre aux bateaux de virer dans le sas pour se présenter à la branche qu'ils doivent suivre. La partie du sas placée dans le prolongement de C est creusée à la profondeur du plafond de cette branche, cette dépression remplace le mur de chute d'une écluse ordinaire.

« Par cette disposition, dit M. Mary, on a fait un ouvrage remarquable, qui paraît très-ingénieux au premier coup d'œil, et qu'on pourrait être tenté d'imiter; il importe donc d'en faire ressortir les inconvénients.

« Quoiqu'il n'y ait que trois têtes d'écluses, il y a, en réalité, quatre paires de portes, par conséquent autant de dépense sous ce rapport que si l'on avait construit deux écluses à sas indépendantes l'une de l'autre. La maçonnerie, pour les bajoyers circulaires, est à peu près aussi considérable. Enfin, le passage des bateaux est plus long que si l'on avait construit deux écluses isolées aboutissant à un bassin rond, parce que la surface du sas circulaire est plus grande que celle des deux sas, et que, par conséquent, il faut plus de temps pour le remplir qu'il n'en faudrait pour remplir deux sas à bajoyers droits. »

Ces conclusions paraissent cependant attaquables; car, pour permettre le passage direct d'une branche dans chacune des deux autres, au moyen d'une seule écluse, la construction de trois écluses serait nécessaire.

Pour ce qui est du profil en travers du sas, il est d'usage dans les canaux de limiter les bajoyers du côté du sas à des faces verticales; cette disposition a pour objet de réduire la consommation de l'eau au strict nécessaire, en réduisant la largeur du sas à la largeur des bateaux augmentée du jeu indispensable au mouvement de l'eau.

Cependant, si l'on remarque que la plus grande poussée sur les bajoyers vient des terres, on reconnaît qu'il y aurait avantage à limiter le sas à des faces en talus; on augmenterait la résistance des bajoyers ou à résistance égale on diminuerait le cube des maçonneries, on faciliterait les mouvements de l'eau et des bateaux; l'échouage n'est évidemment pas à redouter, pourvu que le fruit n'atteigne pas une valeur élevée. Il paraît donc y avoir avantage à l'adoption de bajoyers en talus. C'est un système pratiqué en Amérique.

Les grands sas de nos rivières, destinés à contenir un train de bateaux, seraient trop coûteux à exécuter en maçonnerie; les deux têtes seules des écluses sont en maçonnerie. Le sas est limité à deux talus perreyés; les perrés sont soutenus par le sol naturel du côté de la berge et par une digue en rivière du côté du large. Il faut que ces perrés soient maçonnés en bon mortier hydraulique. Ce système des perrés, appliqué aux écluses de la haute Seine, est économique; mais, suivant M. l'ingénieur de Lagrené, l'expérience a montré qu'il est exposé à de fréquentes avaries et qu'il exige des précautions minutieuses de construction et d'entretien.

Il a bien l'inconvénient de déterminer une grande consommation d'eau; cela serait grave sur un canal, mais est presque indifférent sur une rivière, même au point de vue de la durée de l'éclusée, car on peut proportionner la section des aqueducs de remplissage et de vidange à la capacité du sas.

La figure 6 de la planche XXXII représente une écluse construite sur la rivière

de l'Ourcq avec têtes en maçonnerie et sas en terre. Par crainte des échouages, on a quelquefois battu au pied des talus des pieux dans l'alignement des bajoyers ; ces pieux guident les bateaux, l'expérience paraît avoir montré qu'ils n'étaient guère utiles.

Partie aval d'une écluse. — A la suite du sas, vient la chambre des portes d'aval, avec son mur de fuite qui doit être d'une longueur suffisante pour résister à la poussée des portes qui tend à séparer des bajoyers du sas les murs de fuite d'aval. L'écluse se termine à l'aval, comme à l'amont, par un mur de garde destiné à empêcher les affouillements et à prévenir les filtrations sous les maçonneries du radier.

Accessoires d'une écluse. — Comme accessoires des écluses en rivière, il faut compter : les escaliers ménagés dans les perrés à l'amont et à l'aval ; les échelles verticales, à échelons en fer, installées dans le sas ; les poteaux de défense et pattes d'oie destinés à protéger les musoirs contre le choc des bateaux ; les moyens d'amarrage, tels qu'organeaux ou champignons en fer, scellés dans le sas ou sur le couronnement des bajoyers ; les enrochements et plafonds perreyés à l'amont et surtout à l'aval de l'écluse.

Hauteur d'une écluse. — Le terre-plein d'une écluse de canal est à 0^m,50 ou 0^m,75 au-dessus du niveau de la retenue normale du bief d'amont ; celui d'une écluse en rivière est de 1 mètre à 1^m,50 au-dessus des plus hautes eaux de navigation.

CALCULS RELATIFS A LA CONSTRUCTION DES ÉCLUSES

Nous venons de donner les dimensions apparentes et les dispositions générales des écluses, il nous reste à indiquer comment on déterminera les dimensions des divers massifs de maçonnerie dont une écluse se compose. Nous dirons donc comment on fixe le profil en travers et l'épaisseur des bajoyers, des murs de défense, des murs de fuite, des murs en retour et du radier.

1° Profil des bajoyers. — On serait tenté tout d'abord d'assimiler les bajoyers d'une écluse, soit à un mur de soutènement, soit à un mur de réservoir. Cependant, l'assimilation n'est pas possible ; en effet, un mur de soutènement et un mur de réservoir résistent à l'effort des terres ou de l'eau qui s'exerce sur la même face, ils ne sont pas exposés à travailler tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. C'est le contraire pour les bajoyers d'un sas.

1° Considérons le sas complètement vide, le bajoyer joue le rôle d'un mur de soutènement et doit résister à la poussée des terres pilonnées derrière lui ;

2° Le sas étant encore supposé complètement vide, l'eau du bief d'amont peut s'infiltrer, et, en réalité, s'infiltrera souvent derrière les bajoyers ; la pression hydrostatique du bief d'amont s'exerce donc derrière le bajoyer et tendra à le renverser dans le sas. Il faut qu'il puisse résister à cet effort. Cette poussée de l'eau sera toujours supérieure à la poussée des terres sèches et bien pilonnées ;

3° Mais il peut arriver que ces terres, accumulées derrière le bajoyer, soient de telle nature qu'elles se détrempent et s'imbibent facilement ; elles agissent alors comme un liquide visqueux dont la densité serait double de celle de l'eau, c'est-à-dire qui pèserait 2000 kilogrammes le mètre cube. Il est bon d'admettre

cette hypothèse afin de tenir compte des circonstances tout à fait extraordinaires susceptibles de se produire, et afin que les bajoyers soient capables de résister à la poussée des amas de matières qui pourraient être déposées sur le terre-plein de l'écluse ;

4^e Enfin, il peut arriver que le bajoyer se détache complètement du remblai accumulé derrière lui, et cela par l'effet de la sécheresse et du retrait des terres ; la poussée de l'eau qui se trouve dans le sas agit dans ce cas pour renverser le bajoyer du côté des terres ; cette poussée atteint son maximum, lorsque le niveau dans le sas est le même que dans le bief d'amont. Il faut donc s'assurer que le profil adopté pour le bajoyer est capable de résister à cette nature d'efforts.

Ainsi, il faut procéder à quatre calculs ou à quatre constructions graphiques différentes pour reconnaître si le bajoyer sera capable de résister à tous les efforts auxquels il peut être soumis, en admettant que les circonstances les plus défavorables viennent à se produire.

L'application du théorème des moments ne suffit pas pour reconnaître si la stabilité est assurée : ainsi, ayant déterminé en grandeur et en direction les quatre poussées totales correspondant aux conditions ci-dessus énumérées, on prendra leurs moments par rapport à l'arête du bajoyer autour de laquelle le renversement tend à se produire, et on verra si ces moments sont inférieurs à ceux de la pesanteur ; mais cette vérification ne suffira pas, car elle ne tient pas compte de la résistance des maçonneries à l'écrasement ; c'est près de l'arête, autour de laquelle la rotation tend à se produire, que la compression agit avec le plus d'énergie ; il faut que cette compression, rapportée à l'unité de surface, non-seulement n'atteigne pas la limite d'écrasement, mais encore reste au-dessous de la limite de sécurité. Le coefficient usuel de sécurité est de $\frac{1}{10}$, c'est-à-dire que pour les pierres qui se rompent sous une pression de 400 kilogrammes par centimètre carré, on fera bien de ne pas dépasser un effort de 40 kilogrammes.

Pour chercher la compression maxima, on devra donc déterminer la poussée totale par mètre courant de bajoyer, la construire et fixer le point où elle coupe la base du massif ; on construira également la composante verticale de cette poussée et on recourra alors, pour calculer la compression maxima, aux formules usuelles que nous avons établies précédemment et que nous ne pouvons reproduire ici.

On en trouvera le détail et les applications aux pages 109 et suivantes de notre *Traité des ponts en maçonnerie*. Le lecteur doit être du reste familiarisé avec ces formules.

C'est par une série de tâtonnements que l'on arrivera à déterminer le profil des bajoyers en suivant la marche que nous venons d'indiquer ; le nombre des tâtonnements est nécessairement fort réduit, car on a pour se guider les types anciens ayant donné déjà de bons résultats.

Il est généralement admis qu'il convient d'adopter comme point de départ pour la construction des bajoyers une largeur de 4^m,50 au niveau de la retenue d'amont ; la largeur du couronnement est réduite à 0^m,80. Dans les calculs de stabilité, on peut négliger la portion du bajoyer située au-dessus de la retenue d'amont, on ne fait ainsi que mettre de côté un élément de plus de la résistance.

L'usage a jusqu'à présent prévalu de donner aux bajoyers d'écluse un parement vertical du côté du sas et incliné ou en redans du côté des terres ; cette

forme est facile à construire et se prête bien aux calculs par constructions graphiques; mais on a fait remarquer avec raison dans ces derniers temps que l'adoption d'un talus incliné vers le sas serait plus avantageuse et plus logique, et qu'elle n'avait que l'inconvénient d'augmenter un peu la consommation d'eau. Le talus de $\frac{4}{10}$ est couramment admis dans les écluses américaines.

Quelle que soit la forme adoptée, on arrivera toujours par quelques tâtonnements à déterminer l'épaisseur des bajoyers de telle sorte que la pression maxima par mètre carré de maçonnerie atteigne, sans la dépasser, la limite de sécurité.

M. l'ingénieur de Lagrené a établi, dans son *Traité de la navigation intérieure*, des formules qui donnent l'épaisseur des bajoyers pour une hauteur quelconque de sas; ces formules sont calculées conformément aux bases et à la marche exposées plus haut.

Il existe en outre diverses formules empiriques qui peuvent être rappelées en quelques mots :

D'après Bélidor, l'épaisseur des bajoyers devrait être constante et égale à la moitié de la hauteur maxima de l'eau à soutenir.

D'après Gauthey, il faut adopter une largeur de 1^m,50 en couronne, un parement vertical vers le sas et un parement incliné vers les terres, et calculer l'épaisseur à la base de telle sorte que la section trapézoïdale obtenue oppose à la poussée de l'eau venant du sas la même résistance que celle du mur ayant une épaisseur constante égale à la demi-hauteur maxima de l'eau.

D'après Minard, l'épaisseur moyenne des bajoyers d'écluse varie entre 0,28 et 0,50 de la hauteur. L'épaisseur moyenne, tirée de la comparaison de 400 écluses, est de 0,40 de la hauteur.

M. de Lagrené a donné la formule empirique suivante :

$$x = \frac{-3,9 + \sqrt{1,69 + 2h^2}}{4}$$

dans laquelle h est la hauteur du bajoyer supposée limitée au niveau de la retenue d'amont, x est le fruit total sur chacune des faces supposées construites avec un talus égal; la largeur au niveau de la retenue d'amont, c'est-à-dire à la hauteur h au-dessus du radier, est prise égale à 1^m,50, de sorte que la largeur à la base est de $(1^m,50 + 2x)$.

Avec cette formule on s'écarte peu de la règle empirique de Minard, et on est certain d'avoir des pressions qui ne dépassent pas 5 kilogrammes par centimètre carré.

Pour une écluse de canal, c'est-à-dire pour une écluse à parement vertical du côté du sas, dans laquelle la hauteur h est également limitée au niveau du bief d'amont et la largeur à ce niveau prise égale à 1^m,50, M. de Lagrené arrive à la formule

$$x = -0,975 + \frac{1}{4} \sqrt{6h^2 - 25,55}$$

La largeur à la base du bajoyer est $(1^m,50 + x)$.

Toutes ces formules empiriques sont susceptibles de donner de précieuses indications pour un avant-projet; mais elles ne suffisent pas à la rédaction d'un projet définitif. Car les dimensions doivent dépendre beaucoup de la nature des

matériaux et mortiers employés, et le point de départ du calcul est la pression élémentaire que l'on ne veut pas dépasser.

2^o Profil des murs de défense. — Les murs de défense sont les portions de bajoyers situées immédiatement à l'amont des enclaves des portes d'amont et des portes d'aval. Il y a donc le mur de défense d'amont et le mur de défense d'aval.

Le mur de défense d'amont reçoit les coulisses pour poutrelles et se termine à l'amont par une tour ronde. Nous en avons précédemment déterminé les dimensions.

Le mur de défense d'aval porte aussi quelquefois des coulisses lorsqu'on veut se ménager la possibilité de visiter séparément les deux têtes de l'écluse. Mais dans les canaux et les écluses de longueur ordinaire, il n'a pas de coulisses et sert simplement à établir la transition entre le sas et la chambre des portes d'aval; cette transition est nécessaire, car le sas a un radier courbe et la chambre des portes un radier plan, le sas peut avoir des parois inclinées ou perreyées, tandis que l'enclave est limitée à des plans verticaux. Le mur de défense d'aval a généralement une largeur de 1 mètre.

Le profil en travers des murs de défense ne diffère généralement du profil des bajoyers, qu'en ce que le parement de côté des terres est élevé verticalement comme le parement du côté du sas; la largeur à la base est la même.

Cette disposition, qui donne un accroissement de solidité, a en outre l'avantage de rompre le courant des filtrations qui peuvent se produire derrière les bajoyers.

5^o Profil des murs de fuite. — Les murs de fuite sont les parties des bajoyers qui font immédiatement suite aux chambres des portes d'amont et d'aval.

Les murs de fuite reçoivent directement la poussée des portes; cette poussée est oblique sur l'axe de l'écluse et dirigée vers l'aval, on peut la remplacer par deux composantes, l'une normale à l'axe de l'écluse, l'autre parallèle. La force normale à l'axe de l'écluse tend à renverser vers les terres les murs de fuite et ceux-ci doivent être calculés pour lui résister. La force parallèle à l'axe de l'écluse tend à écraser et à renverser les bajoyers dans le sens du fil d'eau; cette dernière force ne doit donc pas inspirer grande crainte pour les murs de fuite d'amont qui sont épaulés par toute la longueur des bajoyers du sas, mais elle peut être dangereuse pour les murs de fuite d'aval qu'elle tend à renverser dans le bief d'aval.

On a vu des écluses, dont les murs de fuite n'étaient pas de longueur suffisante, s'ouvrir suivant les verticales qui séparent les enclaves d'aval des murs de fuite. Un tel accident est une cause de ruine de l'ouvrage à bref délai.

Il y a des cas où les murs de fuite d'amont sont dans les mêmes conditions que ceux d'aval; c'est lorsque le sas de l'écluse est limité à des talus en terre ou à des perrés.

C'est l'exception; en général, les murs de fuite d'amont sont épaulés par les bajoyers, et on se contente, comme pour les murs de défense, de conserver la même épaisseur qu'à la base des bajoyers, et d'élever verticalement le parement du côté des terres. Cette disposition règne sur une longueur de 2 mètres à l'aval du chardonnet. Malgré l'expérience, il est bon de s'assurer par le calcul que le massif ainsi obtenu présente une résistance suffisante à l'effort transversal que les portes lui transmettent.

La détermination de la poussée des portes sur les maçonneries est donc la

base du calcul des murs de fuite. Voici comment on procède à cette détermination :

Soit un busc d'écluse dont ab est la base et cd la flèche, figure 5, planche XXXIII; les portes ac et cb reçoivent dans leur plan médian, de la part de l'eau d'amont, une poussée totale P , que nous calculerons tout à l'heure. Ces portes, qui s'arc-boutent l'une contre l'autre par leurs poteaux busqués, transmettent leur pression d'une part par leur entretoise inférieure sur le busc, et d'autre part par leur poteau-tourillon sur le chardonnet. Mais il faut remarquer que l'on ne doit pas tenir compte de la part de pression supportée par le busc, car : 1° la présence du busc n'est pas indispensable au jeu des portes qui pourraient résister d'elles-mêmes par leur simple arc-boutement; 2° on n'est jamais assuré que les portes s'appuient réellement sur le busc. Ainsi, il faut admettre que toute la poussée des portes se transmet sur le chardonnet seul.

Par conséquent, si l'on veut chercher les conditions d'équilibre d'une porte, et arriver à la considérer comme indépendante de ses appuis, il faut admettre qu'elle est sollicitée par trois forces, savoir : 1° la poussée de l'eau P normale à la porte; 2° la réaction Q de l'autre porte, normale à la face de contact des poteaux busqués, c'est-à-dire à l'axe de l'écluse; 3° la réaction R du massif de maçonnerie du mur de fuite.

Ces trois forces, situées dans un même plan, se font équilibre; elles se rencontrent donc en un même point e ; nous connaissons l'une d'elles P , il faut construire ou calculer les deux autres. C'est ce que nous avons fait sur la figure 6, planche XXXIII.

La réaction R , ou son opposée la pression exercée par la porte sur le mur de fuite, part du point e où se rencontrent les forces P et Q , et passe par l'angle a du chardonnet. Si la longueur ek mesure la force P , il est facile de construire le parallélogramme des forces $efgk$, et la force Q est égale à ef ou à gk , tandis que la poussée R est mesurée par la diagonale eg .

Appelons α l'angle dac du busc; le triangle cea est isocèle, et l'angle cea est égal à $(\pi - 2\alpha)$; son complément gef est égal à 2α . La résultante R fait donc avec l'axe transversal de l'écluse un angle double de l'angle du busc.

Le triangle egk est lui-même isocèle; par suite, les forces R et Q sont égales. Si l'on exprime en outre que les forces sont proportionnelles aux sinus des angles opposés, on arrive à la relation simple

$$R = Q = \frac{P \sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right)}{\sin 2\alpha} = \frac{P}{2 \sin \alpha}$$

Reste à calculer P ; pour se placer dans les conditions les plus désavantageuses qui peuvent se présenter, il faut admettre que le bief d'amont presse sur les portes tandis que le bief d'aval est vide. Appelons l la demi-largeur de l'écluse, e la profondeur de l'enclave; la largeur ac d'une porte sera égale à

$$\left(\frac{l+e}{\cos \alpha} \right)$$

La pression moyenne exercée sur la surface de la porte est la moitié de la

hauteur de l'eau à l'amont, soit $\left(\frac{h}{2}\right)$. Il en résulte pour la valeur de la poussée totale :

$$P = \frac{h^2}{2} \frac{l+e}{\cos \alpha}$$

et l'on a en outre :

$$R = Q = \frac{h^2}{2} \cdot \frac{l+e}{\sin 2\alpha}$$

Telle est la valeur de la poussée R exercée sur le mur de fuite ; cette poussée serait minima pour $(\sin 2\alpha = 1)$, ce qui donne pour α la valeur 45° , inadmissible dans la pratique.

Connaissant R , il est facile de construire ou de calculer ses deux composantes R' et R'' . Supposons-les transportées au centre de la section mnr s du massif du mur de fuite, il faudra leur adjoindre deux couples de rotation de sens contraire, qui tendent à tordre le massif de maçonnerie. On néglige cet effort de torsion qui n'est à craindre en aucune façon.

On recherche seulement si le massif a des dimensions suffisantes pour résister transversalement à la force R' et longitudinalement à la force R'' , et si ces forces ne déterminent pas dans le voisinage des arêtes de renversement des pressions supérieures à la limite de sécurité. Nous avons indiqué plusieurs fois déjà comment on procède à ces recherches sur lesquelles nous ne reviendrons pas.

4^o Profil des murs en retour. — Les murs en retour des deux têtes d'écluse sont des murs ordinaires de soutènement ; on les calcule comme tels suivant la hauteur du remblai correspondant.

Leur épaisseur n'est pas inférieure à 1 mètre, et ils doivent être enracinés dans les berges, en arrière de l'arête supérieure du talus, d'une profondeur de 1 mètre environ.

5^o Profil du radier. — Un radier d'écluse n'a, en apparence, qu'à résister au poids de l'eau qui le surmonte, ainsi qu'aux chocs accidentels et à l'action de l'eau qui s'échappe des ventelles des portes. S'il en était ainsi, une épaisseur médiocre lui suffirait.

Mais on oublie que les eaux du bief d'amont s'infiltreront, ou tout au moins peuvent s'infiltrer sous le radier, qu'elles tendent à soulever avec une force égale à la pression hydrostatique. La situation la plus désavantageuse se produira lorsque le sas sera complètement à sec, et la pression hydrostatique sera alors mesurée par la hauteur h de la retenue d'amont au-dessus du sas, augmentée de l'épaisseur e du radier.

En supposant le radier indépendant des bajoyers et résistant par son poids seul à la sous-pression, et en admettant que la densité de la maçonnerie est seulement le double de celle de l'eau, on trouve que l'épaisseur e devrait être égale à la hauteur h ; cette règle conduirait évidemment à des épaisseurs exagérées et inadmissibles.

Il faut donc tenir compte de la liaison du radier et des bajoyers ; imaginons une tranche de radier de 1 mètre de longueur, nous pouvons la considérer comme une poutre encadrée à ses deux extrémités et la calculer comme telle.

Appelons l la largeur du sas, c'est aussi la longueur de la poutre entre ses appuis. Le poids d'un mètre cube d'eau étant de 1000 kilogrammes, et celui d'un mètre cube de maçonnerie de 2000 kilogrammes, la charge qui agit sur un mètre courant de la poutre est exprimée en kilogrammes par

$$4000 (h + e) - 2000 e \quad \text{ou} \quad 4000 (h - e)$$

Appliquons la formule relative à la résistance d'une poutre encastrée à ses deux extrémités et chargée uniformément, nous arrivons à l'expression.

$$(1) \quad \frac{2.R I}{e} = \frac{4000 (h - e) l^2}{46}$$

R est la charge par mètre carré qu'on ne veut point dépasser; comme la maçonnerie doit travailler à l'extension, et que cette maçonnerie est presque entièrement en béton, il est prudent de limiter l'effort à 4 kilogramme par centimètre carré, soit à 10.000 kilogrammes par mètre carré. Telle est la valeur de R .

Quant au moment d'inertie I de la section rectangulaire de la poutre, il est égal à

$$\frac{1}{12} e^3$$

La formule (1) se transforme donc en :

$$\frac{40e^2}{5} = \frac{(h - e)l^2}{8},$$

équation du second degré qui donne pour la valeur réelle de e :

$$(2) \quad e = \frac{-5l^2 + l\sqrt{9l^2 + 960.h}}{160}$$

En laissant la valeur de la tension R indéterminée, on arrive à :

$$(3) \quad 2R.e^2 + 750.l^2.e - 750 hl^2 = 0$$

Considérons une écluse de 5 mètres de large, dans laquelle h est égale à 4 mètres, la formule (2) donne pour l'épaisseur du radier..... 1^m,53.

Radier en voûte renversée. — Lorsque le radier est construit en voûte renversée, ou peut être appareillé comme tel, il est facile d'en calculer l'épaisseur au moyen de la formule de Navier ;

$$(4) \quad T = \rho F$$

qui donne la pression T à la clef d'une voûte, dont ρ est le rayon de courbure à l'intrados et qui supporte à son sommet, sur une longueur d'un mètre d'intrados, une pression normale F .

La pression F est, comme nous l'avons vu plus haut, égale à

$$1000 (h - e),$$

le rayon à l'intrados du radier est connu et dépend des données de la construction. On peut donc calculer F et voir s'il en résulte une pression élémentaire supérieure à la charge de sécurité.

Exemple : Soit une écluse de 5 mètres de large, dont le radier a $0^m,25$ de flèche, la hauteur h étant, comme ci-dessus, égale à 4 mètres; le rayon de courbure à l'intrados est égal à $12^m,62$, et l'équation (4) devient :

$$(5) \quad T = 12,62 \ 1000 (h - e)$$

La maçonnerie résiste par compression, on peut donc la faire travailler à 5 kilogrammes par centimètre carré, soit à 50.000 kilogrammes par mètre carré. T devra donc être au plus égal à $(50.000 e)$, ce qui transforme l'équation (5) en

$$(6) \quad 50.e = 12,62 (h - e)$$

d'où l'on tire

$$e = \frac{50}{62} = 0^m,80.$$

Appareiller le radier en voûte renversée place donc la maçonnerie dans de bien meilleures conditions de résistance et permet de réduire l'épaisseur du radier ainsi que la profondeur des fouilles, et par conséquent la dépense.

Remarques diverses sur la construction des écluses.— Toutes les parties d'une écluse doivent être l'objet de soins assidus lors de la construction; c'est un des ouvrages pour lesquels une malfaçon peut entraîner les plus graves avaries. La construction offre souvent de grandes difficultés, car on est forcé de construire à sec des parties qui sont néanmoins destinées à être toujours immergées, telles que les buscs et les revêtements de radier. Quand il s'agit d'un pont, on peut obtenir des fondations solides au moyen de maçonnerie immergée; il n'en est pas de même pour une écluse et les épaissements sont indispensables. C'est ce qui explique le mode de fondation généralement suivi: on exécute une fouille générale sur l'emplacement de l'écluse, on immerge du béton, pour constituer un fond étanche, que l'on limite à des batardeaux également en béton, lesquels seront plus tard incorporés en partie aux bajoyers. On a constitué de la sorte une longue auge, que l'on laisse durcir sous l'eau; lorsque les mortiers ont fait prise, on épuise et on maçonne à l'intérieur.

Mais nous n'avons pas à revenir sur ces procédés de fondation que nous avons exposés en détail dans notre traité de l'*Exécution des travaux*.

En ce qui touche l'appareil de l'écluse, nous en avons donné les dispositions principales: on construit en pierres de taille les buscs et chardonnets, les parements des murs de garde et de défense, les angles, les parties arrondies, les couronnements des bajoyers et des murs en retour. Le reste des surfaces vues est généralement construit en moellons piqués. Dans ces grandes surfaces de moellons piqués, on lance quelquefois des pierres de taille, formant de longues

boutisses, destinées à relier la surface au centre du massif. On verra un exemple de cette disposition dans l'écluse du canal de la Marne au Rhin.

Il faut remarquer cependant que l'usage des ciments et mortiers très-hydrauliques permet de réduire dans une forte proportion l'emploi de la pierre de taille; comme elle devient de plus en plus coûteuse, il faut la ménager le plus possible.

Ce qui importe, c'est que le revêtement des écluses soit inattaquable par la gelée sur une profondeur de 0^m,60 au moins; on doit, du reste, placer en revêtement les matériaux les plus durs.

Avec les pierres de taille, la distance d'un joint à un angle rentrant ne doit pas être inférieure à 0^m,05, et la distance à un angle saillant doit être d'au moins une hauteur d'assise. Les coulisses de faible profondeur sont taillées dans la pierre même; dans les autres on doit, autant que possible, éviter les joints et avoir soin de les alterner lorsqu'on est forcé d'en adopter.

Le couronnement des écluses est en grosses pierres de 0^m,80 de large, sur 0^m,40 de hauteur par exemple; derrière ce couronnement règne un pavage maçonné soigneusement entretenu.

Il va sans dire que les remblais derrière les bajoyers demandent à être exécutés avec le plus grand soin, et en observant les précautions indiquées pour les massifs des barrages. Il faut rendre impossibles les filtrations de l'eau; à ce point de vue, le pavage maçonné du terre-plein est également très-important. Si ce pavage n'était pas maçonné et que le terre-plein se laissât pénétrer par l'eau, il serait à craindre que lors des gelées le massif ne vint à se gonfler et à disloquer le couronnement et le massif même du bajoyer.

Écluses économiques. — Lorsque l'on se demande quelles parties d'écluse on pourrait réduire ou supprimer, de manière à amener la longueur et par suite la dépense au minimum, on arrive aux conclusions suivantes :

1^o Toute la partie qui se trouve en avant du chardonnet d'amont ne joue qu'un rôle de direction et sert surtout à recevoir les coulisses. On pourrait donc commencer l'écluse au chardonnet d'amont, ou 0^m,50 en avant. Les portes s'ouvriraient dans le bief même du canal; il serait facile de les mettre à l'abri du choc des bateaux, et de protéger les bateaux eux-mêmes au moyen de quelques pieux ou de pattes d'oie.

2^o On pourrait même économiser la saillie du busc en adoptant des portes à axe de rotation horizontal au lieu de portes busquées; ces portes à axe de rotation horizontal se rabattent sur le radier; elles ont été appliquées en France comme portes de garde, et sont en usage pour les écluses des canaux d'Amérique.

3^o En supprimant le mur de chute, on gagne la longueur comprise entre le busc et ce mur, longueur inutilisable pour les bateaux.

4^o Sur la longueur du sas, on ne peut évidemment rien économiser, pourvu qu'elle soit calculée sur la longueur des bateaux fréquentant l'écluse.

5^o On peut encore économiser la longueur du busc d'aval en adoptant des portes à rabattement et à axe horizontal de rotation; mais on ne peut rien gagner sur la longueur du mur de fuite, qui doit toujours être capable de résister à la poussée des portes.

Ces dispositions économiques n'ont guère été employées en France; on en trouve des exemples, paraît-il, dans les écluses des canaux de Hollande.

Les écluses en charpente, qui auraient pu autrefois être économiques, ne le sont plus aujourd'hui. Cependant M. Mary en avait construit, vers 1850, qui

avaient rendu des services comme ouvrages provisoires. Les figures 1 de la planche XXXIII représentent, d'après lui, les dispositions du busc d'une de ces écluses en charpente.

Des écluses en rivière. — Autrefois, quelques écluses accolées à des barrages en rivière ont été disposées en arrière de la berge, comme le montre la figure 7 de la planche XXXIII.

Le barrage étant en B et *mn* la ligne de la berge, on voit en A un bassin destiné à former le sas de l'écluse; ce bassin communique avec le bief d'amont par les portes *a* et avec le bief d'aval par les portes *b*. Il fonctionne comme une écluse ordinaire, si ce n'est que les bateaux doivent sortir l'arrière en avant si les dimensions du bassin A ne permettent point de virer à l'intérieur.

On comprend qu'une pareille disposition est très-gênante pour la manœuvre des bateaux et ne se prête guère à une circulation importante.

On a établi souvent aussi les écluses sur des dérivations, parce qu'on craignait, en les plaçant en lit de rivière, de nuire à l'écoulement des crues, et parce que la construction d'une écluse sur dérivation était plus commode et plus économique.

Aujourd'hui, les écluses se font en lit de rivière, accolées aux barrages et placées du côté du chemin de halage; on a reconnu qu'elles ne gênaient pas l'écoulement des crues et qu'elles offraient à la navigation plus de facilités. — On a soin, du reste, de ne pas choisir pour emplacement des écluses une partie de berge convexe, parce qu'elle serait sujette aux atterrissements et n'offrirait que de faibles profondeurs. — Cependant, une concavité trop accusée serait gênante pour la navigation, surtout s'il s'agissait d'un sas de grande longueur, destiné à recevoir tout un convoi de bateaux.

Le barrage ne doit pas correspondre à la tête amont de l'écluse, car il serait à craindre que le courant n'entraînât sur le barrage les bateaux avalants; s'il correspondait à la tête aval, les remous causeraient également une gêne sérieuse à la navigation. — Il semble donc convenable de placer le barrage en arrière du milieu de l'écluse, sans le rapprocher outre mesure de la tête aval. — Cependant, les barrages éclusés de la haute Seine et de la Marne correspondent aux têtes d'aval des écluses.

Voici les dimensions des écluses de la haute Seine :

Longueur entre buscs.	187 mètres.
Longueur utile.	181 —
Largeur du sas.	12 —

La plus grande chute des écluses de la haute Seine est celle de l'écluse de Port-à-l'Anglais, qui peut atteindre 5^m,24.

TYPES D'ÉCLUSES

Les généralités sur les écluses seront, nous l'espérons, suffisantes pour guider le lecteur dans l'étude et la rédaction d'un projet quelconque. — Néanmoins, nous compléterons ces généralités par la description de quelques écluses de diverses grandeurs.

1° **Écluses du canal de la Marne au Rhin** (1^{re} partie). — Comme exemple d'écluse de canaux, nous donnerons une écluse du canal de la Marne au Rhin, partie comprise dans les départements de la Marne et de la Meuse. — La des-

cription suivante, ainsi que le dessin de la planche XXXIV, sont empruntés au portefeuille de l'École des ponts et chaussées :

Les figures 1 à 5, planche XXXIV, indiquent le type d'après lequel ont été construites les 85 écluses du canal de la Marne au Rhin dans la traversée des départements de la Marne et de la Meuse, type simple et paraissant concilier pour le mieux les conditions de commodité, de solidité et d'économie.

Une partie de ces écluses avait été originairement établie sans avant-mur de chute : un plan incliné au 4/20° sur 20 mètres de longueur raccordait le plafond du bief supérieur avec le radier de la chambre des portes d'amont. Le rapide envasement de cette chambre conduisit à ajouter partout un avant-mur de chute.

Les parements vus sont en pierres de taille et moellon piqué; on remarquera que, dans les grandes surfaces vues de moellon piqué, on a placé des pierres de taille qui forment boutisses et qui relient solidement le parement avec le massif de maçonnerie.

L'écluse de Demange-aux-Eaux, prise pour exemple, a été construite en 1846. Elle est fondée en partie sur le gravier, en partie sur une alluvion d'argile calcaire. Voici le détail de la dépense de son établissement :

INDICATION DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	PRIX.	VALEURS.
1° TRAVAUX A L'ENTREPRISE.			
	mèt.	fr.	fr.
Maçonnerie de pierre de taille.	121,44	40,88	4.964,47
Maçonnerie de moellons smillés.	140,15	24,09	5.375,75
Maçonnerie de béton pour fondations.	699,65	16,52	11.417,96
Maçonnerie de béton pour chapes.	4,16	19,71	81,99
Maçonnerie de moellons bruts pour remplissage.	611,25	15,62	8.524,95
Parements vus de pierre de taille.	264,96	6,51	1.724,89
Smillage de parements vus en moellons.	140,15	4,05	567,55
Rejointoiement sur parements en moellons.	409,09	0,56	229,09
Maçonnerie de perrés à pierres sèches en moellons non gelifs.	56,00	5,85	210,60
Enrochements en moellons bruts ordinaires.	41,20	4,54	187,05
Charpente en bois de chêne de premier choix, équarri à vives arêtes sans aubier	6,76	155,21	1.055,70
Charpente en bois de sapin équarri à vives arêtes.	0,65	84,41	54,84
Gros fers scellés dans la maçonnerie pour tirants de colliers.	205,84	0,84	171,25
Fers forgés et battus, ajustés à la lime et taraudés.	1.870,21	1,12	2.094,64
Fer laminé.	465,95	0,79	568,10
Tôle pour bordage.	1.287,44	1,02	1.515,19
Vis à bois, mises en place (au cent).	8,56	59,92	516,04
Fonte douce de 2° fusion.	256,09	0,55	77,91
Plomb pour scellement.	178,50	0,84	149,94
Peinture à l'huile, au minium, à une couche sur les fers.	55,26	0,59	45,75
Peinture à l'huile, au minium, à deux couches sur les fers.	90,10	0,71	65,97
Goudronnage à trois couches sur les bois des portes d'écluse.	127,50	0,50	65,65
			36.807,22
2° SOMME A VALOIR :			
Environ.			2.692,78
Dépense totale.			59.500,00

La dépense ci-dessus comprend des portes formées d'une carcasse en charpente et d'un bordage en tôle. Le type pour 78 des 85 écluses du canal dans les départements de la Marne et de la Meuse, présente un bordage en bois. Une partie de ces portes, tout en bois, a été construite dès l'année 1845, et elles n'ont guère exigé jusqu'en 1858 d'autres travaux d'entretien que des goudronnages. Les deux paires de portes de chaque écluse ont coûté environ 5000 francs.

2^o Écluses du canal de la Marne au Rhin (versant du Rhin). — La coupe en travers du sas de ces écluses est représentée par la figure 2 de la planche XXXVII.

La longueur du sas entre la corde du mur de chute et la ligne d'amont des enclaves d'aval est de 55^m,85 ; la corde du mur de chute est à 2^m,50 en arrière de la pointe des portes d'amont, et la distance entre les pointes des deux paires de porte est de 58^m,11.

Un bateau de 54^m,50, à bouts carrés, passe facilement dans ces écluses. — Leur largeur est de 5^m,20. — Il est aujourd'hui reconnu que cette largeur de 5^m,20 est insuffisante pour des bateaux de 5 mètres à 5^m,40 de large, qui éprouvent au passage une résistance exagérée, dont les bateliers se plaignent.

Les dispositions de détail des écluses du versant du Rhin sont identiques ou analogues à celles des écluses de la première partie du canal, que nous venons de décrire.

Le long des murs en retour d'aval, on a adopté une disposition qui doit être toujours imitée : un escalier en pierre, établi sur le talus, fait communiquer le terre-plein de l'écluse avec le chemin de halage du bief d'aval. Cette disposition est très-commode pour les bateliers et pour les éclusiers.

Dans les terrassements, la chute des écluses se rachète par des rampes de 0^m,07 par mètre, qui rattachent les plates-formes de l'écluse aux chemins de halage du bief d'aval.

Il y a deux murs de chute, l'un avant, l'autre après la chambre des portes d'amont ; le premier est dérasé à 0^m,20 au-dessous du plafond normal du bief d'amont ; l'autre est dérasé au-dessous de la retenue d'aval, de telle sorte que les ventelles des portes se trouvent en partie noyées et ne projettent pas leurs eaux sur les bateaux.

« Le profil en travers des bajoyers donne lieu, dit M. Graëff, à une observation spéciale que nous regardons comme importante et qui s'applique en général à tous les massifs en maçonnerie ayant à supporter des terres et qui doivent être étanches. Au lieu de terminer les parements du côté des terres par des retraites, il eût mieux valu leur donner un fruit uniforme de $\frac{1}{10}$. Avec cette disposition, les terres font coin et se serrent à mesure qu'elles tassent ; avec les retraites, au contraire, il y a arrachement à chaque retraite, séparation des terres et de la maçonnerie, et il en résulte souvent des communications d'eau du bief d'amont au bief d'aval le long des maçonneries des bajoyers. — Depuis que nous connaissons par expérience le mauvais effet des retraites, nous les avons supprimées dans toutes nos constructions, et nous n'avons eu qu'à nous en applaudir sous tous les rapports. Il est bon, d'ailleurs, de revêtir d'un crépi en maçonnerie le dessus des murs et leurs parements du côté des terres, pour empêcher les eaux, qui pourraient filtrer du bief d'amont autour des maçonneries, de les rendre humides. »

M. Graëff recommande encore d'avoir soin d'arrondir toutes les arêtes vives des maçonneries d'écluses, afin d'éviter les écornures d'un effet désagréable.

Il fait remarquer aussi les graves inconvénients qui résultent de l'exécution des parements de murs avec des moellons de grosses dimensions à faibles joints, alors que le massif est fait en moellons plus petits à joints quelconques. Le tassement est beaucoup moindre sur le parement que dans le massif; il se forme entre eux une rupture, et le parement se détache du massif. — Nous avons déjà signalé cet effet, en indiquant les moyens de remédier au mal.

Il faut adopter en parement des hauteurs d'assises comparables à celles des moellons de remplissage; il faut se garder des joints étroits qui sont, du reste, généralement mal garnis. On doit au contraire tenir les joints horizontaux très-forts, 0^m,01 à 0^m,02. Il faut aussi lancer des boutisses de place en place.

Les joints de pierre de taille ne doivent pas, après compression, descendre au-dessous de 0^m,005, et ceux de moellon piqué au-dessous de 0^m,008. — La maçonnerie de pierre de taille se relie, du reste, toujours mieux au massif postérieur.

Il faut rejointoyer, aussi souvent qu'il est nécessaire, les parements en moellons piqués, car si l'eau pénétrait derrière et que la gelée vint à se produire, ce serait la ruine certaine du parement.

M. Graëff blâme l'usage où l'on est de ne procéder au rejointoiement des maçonneries que plusieurs mois après l'exécution, alors que les premiers mortiers sont durs et ne contractent que difficilement l'adhérence avec le mortier de rejointoiement. — Il recommande de lisser les joints au fur et à mesure de l'exécution, avec le mortier même qui sert à la maçonnerie; les résultats obtenus, peut-être un peu moins beaux, sont infiniment meilleurs.

Communication latérale des écluses dans les biefs courts. — Les figures 1, 2, 3 de la planche XXXVII représentent les dispositions adoptées pour faire communiquer, par un aqueduc latéral aux écluses, les biefs courts consécutifs qui se rencontrent près du point de partage sur le versant du Rhin. Dans ces biefs courts, chaque écluse faisait baisser l'eau de 0^m,20; comme on leur a donné 2 mètres de mouillage pour un tirant d'eau normal du canal de 4^m,60, on pouvait à la rigueur en tirer deux écluses de suite. Mais ces deux écluses élevaient le mouillage du bief inférieur à 2^m,40 et exposaient ce bief à déborder.

Pour éviter cet inconvénient, et pour obtenir la régularisation automatique du niveau des biefs courts consécutifs, on établit dans le bief d'amont, figure 1, un déversoir arasé au niveau normal; dès que les eaux dépassent ce niveau, elles s'épanchent sur le déversoir et par l'aqueduc, dont la figure 2 représente la coupe, se rendent dans le bief d'aval où elles débouchent, comme le montre la figure 3.

La largeur du déversoir d'amont doit être d'environ 5 mètres, afin de pouvoir débiter, pendant la durée de l'écluse supérieure, le cube de cette écluse et sans laisser les eaux s'élever dans le bief de plus de 0^m,04 à 0^m,05 au-dessus de leur cote maxima.

« Avec ces dispositions particulières, dit M. Graëff, la navigation de la descente d'Arschwiller se fait sans peine et les eaux ne se perdent pas; elles vont de bief en bief à mesure qu'il y a des excédants, et quand il y a abaissement, on tire par le jeu des ventelles des écluses supérieures les eaux du bief de partage. »

5° **Écluse du canal Saint-Martin, à Paris.** — Les figures 4 à 7 de la planche XXXVII représentent une des écluses du canal Saint-Martin, à Paris; ces écluses ont été refaites un peu avant 1860. — Nous en avons représenté le profil en long, le plan et les coupes en travers. — A la suite des portes d'aval on voit un mur

de chute qui indique qu'une seconde écluse vient immédiatement à la suite de la première.

Les écluses ont une largeur nette de 7^m,80.

Le radier comprend deux couches, l'inférieure de 0^m,70 en moellons et mortier de ciment, la supérieure de 0^m,30 en meulière et mortier de ciment.

Les parements du sas sont en meulière avec chaînes et couronnements en pierres de taille.

4^e Écluses de la haute Seine. — La figure 4 de la planche XXXV, empruntées au *Traité de la navigation intérieure* de M. l'ingénieur en chef de Lagrené, donnent un spécimen des écluses de la haute Seine.

La figure 4 est une coupe transversale passant par la corde du busc des portes d'aval; cette coupe passe donc par l'origine du mur de fuite; la vidange et le remplissage du sas se font au moyen d'aqueducs, dont la section est indiquée sur la figure qui nous occupe. Ces aqueducs, établis sur plan demi-circulaire, ont leur origine l'un dans la chambre des portes d'amont, l'autre dans la chambre des portes d'aval, et se terminent, l'un à l'origine du sas, l'autre vers le milieu du mur de fuite d'aval. Il va sans dire que le passage est ouvert ou intercepté par des vannes manœuvrées au moyen de treuils à engrenages établis sur le couronnement de l'écluse.

La figure 4 *ter* est une coupe transversale faite dans l'enclave des portes d'aval. Elle montre comment les batardeaux ayant servi à la fondation ont été incorporés à l'écluse.

La figure 4 *bis* est une coupe suivant l'axe longitudinal de la chambre des portes d'amont. Cette coupe indique la saillie du busc, les deux paires de coulisses destinées à maintenir les batardeaux qui permettent d'assécher et d'isoler la chambre d'amont. Elle indique aussi les deux têtes de l'aqueduc de remplissage dont nous parlions plus haut.

Nous savons déjà que dans ces écluses les têtes seules sont en maçonnerie et le sas est en terre avec talus perreyés.

La largeur libre pour le passage des bateaux est de 12 mètres, la saillie du busc est de 1^m,50, la longueur du sas perreyé est de 172 mètres.

C'est à peu près le plus grand type des écluses de rivière.

5^e Écluses du canal du Berry. — Pour terminer nous donnerons un type d'écluse à petite section. La planche XXXVI représente l'écluse du Breuil, appartenant au canal du Berry.

Le tirant d'eau normal du canal est de 1^m,50 et la profondeur totale est de 2 mètres, comme on le voit à l'amont de la coupe longitudinale.

Un radier incliné de 10 mètres de longueur et de 1^m,80 de pente totale raccorde le plafond d'amont avec la chambre des portes d'amont.

Cette chambre des portes, de 3^m,80 de profondeur au-dessous du couronnement, et de 4^m,05 de longueur depuis le parement du mur en retour jusqu'au busc, commence par un mur de garde de 0^m,60 de longueur suivant l'axe de l'écluse.

L'écluse n'ayant que 2^m,70 de large, il est inutile de recourir à deux portes busquées; une seule porte suffit, s'appuyant sur une saillie transversale du radier lorsqu'elle est fermée, et se logeant dans une enclave lorsqu'elle est ouverte. L'enclave est sur le côté droit de l'écluse, et sur le côté gauche on voit une échancrure circulaire permettant au poteau opposé à l'axe de rotation de la porte de venir s'appuyer contre le bajoyer de gauche.

La même disposition existe à l'aval.

La longueur utile du sas est de 27^m,75.

Le mur de chute n'a qu'un mètre de hauteur ; son couronnement est donc à 0^m,50 au-dessous de la retenue d'aval et les bateaux ne sont pas inondés par le courant qui s'échappe des ventelles.

La chute de l'écluse est de 2^m,50.

La figure 3 donne la coupe en travers, et la figure 4 l'élévation de la tête d'aval et des murs en aile qui la raccordent avec la section ordinaire du canal.

Le radier a 1^m,20 d'épaisseur et les bajoyers 2^m,50 à la base.

Les couronnements et chaînes sont en pierres de taille, les parements en moellon smillé, le pavage du radier également en moellon smillé.

Cette écluse a coûté, en 1852, 26.852 francs, y compris le pont en charpente. Cette dépense serait aujourd'hui augmentée d'un tiers ou de moitié.

DES PORTES D'ÉCLUSES

Généralités. — Les portes d'écluses sont à axe de rotation horizontal, ou à axe vertical.

Les portes à axe horizontal tournent autour de deux tourillons scellés dans le radier ; ces portes sont rares en France, où on ne les a guère employées que comme portes de garde. L'usage en est beaucoup plus répandu en Amérique.

Les portes à axe vertical sont à un ou deux vantaux. Le vantail unique convient aux écluses à petite section, comme les écluses du canal du Berry ou du canal de la Sauldre. Dans ce cas, le busc est évidemment inutile et on le remplace par un heurtoir transversal au radier.

Les portes à deux vantaux sont des portes busquées, c'est-à-dire que leur ensemble forme un chevron dont la pointe est dirigée du côté de la plus grande charge.

Une porte, quelle qu'elle soit, se compose en général d'un *cadre* et d'un *bordage*.

Le bordage, destiné à assurer l'étanchéité, est fixé sur le cadre, il est en bois ou en métal, c'est-à-dire composé de planches ou de feuilles de tôle.

Le cadre comprend les éléments suivants :

1° Le poteau *tourillon*, en contact avec le chardonnet ;

2° Le plateau *busqué* ; les deux portes étant fermées et appuyées l'une contre l'autre, les deux poteaux busqués sont en contact par une face plane, située dans le plan vertical passant par l'axe de l'écluse. Un poteau busqué se termine donc par une face inclinée sur le plan médian de la porte ; ce poteau est ce que nous avons appelé en charpente une pièce *délardée* ;

3° Les *entretoises*, ou poutres horizontales reliant les deux poteaux verticaux avec lesquels elles s'assemblent, et dont les assemblages sont consolidés par des ferrures, des équerres ou des goussets en fonte ;

4° Le *bracon*, pièce inclinée, dirigée suivant la diagonale du cadre, depuis le sommet du poteau busqué, jusqu'à la base du poteau tourillon ; cette pièce est destinée à trianguler le cadre, et par conséquent à empêcher la déformation ; sans elle, on est exposé à voir la porte, sollicitée par la pesanteur, baisser du nez, c'est-à-dire s'abaisser du côté du poteau busqué.

5° Les *potelets*, qui sont destinés à limiter, dans le sens vertical, l'orifice des ventelles, orifice généralement ménagé entre les deux entretoises inférieures.

Le poteau tourillon porte à la base une crapaudine femelle dans laquelle s'engage le gond d'une crapaudine mâle scellée dans la maçonnerie du radier ; à sa partie supérieure, ce poteau est guidé dans son mouvement de rotation par un collier en fer que maintiennent deux bandes également en fer scellées et enfouies dans le massif du bajoyer.

Une porte d'écluse est soumise à divers efforts : 1° elle reçoit de l'autre porte busquée une réaction transversale à l'écluse, réaction que nous avons calculée lorsqu'il s'est agi de déterminer les dimensions des murs de fuite d'aval ; cette réaction a une composante dirigée suivant les entretoises de la porte ; la section totale de celles-ci est toujours beaucoup plus forte qu'il n'est nécessaire pour résister à cette composante ; nous ne nous en préoccupons pas ; 2° la nature d'efforts qui doit attirer notre attention est la poussée de l'eau, et il faut, pour se placer dans la condition la plus désavantageuse, admettre que le sas pourra être vide tandis que le niveau d'amont atteindra sa hauteur maxima.

Le bordage, évidemment fixé sur la face amont des portes, reçoit directement la pression de l'eau, mesurée par la distance qui sépare chaque élément de la surface libre du liquide.

La pression reçue par le bordage est transmise aux entretoises ; on peut donc considérer chaque entretoise comme une poutre horizontale uniformément chargée. En charpente, on n'admet pas que les assemblages puissent jamais constituer encastrement ; on devrait donc considérer les entretoises comme simplement posées sur deux appuis. Mais alors, en prenant pour base des calculs l'entretoise inférieure qui est la plus chargée, on arriverait à des dimensions exagérées et tout à fait supérieures à celles qui suffisent dans la pratique.

Si l'on considère que le bordage et les deux poteaux verticaux établissent entre les entretoises une grande solidarité et répartissent les pressions sur l'ensemble, on reconnaît que les entretoises ne doivent pas être assimilées à des poutres horizontales posées sur des appuis, mais qu'il faut les considérer au moins comme à moitié encastrees. C'est ce qu'a fait M. Malézieux pour le calcul des portes en tôle, ainsi que nous le verrons tout à l'heure.

Mais ce n'est point dans cette partie du *Traité de navigation* que nous nous proposons d'aborder la théorie complète des portes d'écluses ; elle sera beaucoup mieux à sa place lorsque nous nous occuperons des grandes écluses marines. Nous dirons seulement qu'il convient de placer le bordage vertical et d'adopter des entretoises également espacées.

Comme accessoires des portes d'écluses, il faut considérer les ventelles et les appareils destinés à les manœuvrer, la petite passerelle de service fixée à la porte même, les engins destinés à ouvrir et à fermer les portes, engins qui prennent leur point d'appui à l'extérieur.

Plusieurs systèmes ont été préconisés pour la construction des portes d'écluses ; les plus simples et les plus répandues sont encore les portes en bois avec ferrures ou équerres en fonte ; dans les grandes écluses l'emploi de la tôle semble devoir être adopté dans certains cas ; quant aux portes entièrement en fonte, elles se rompent trop facilement par le choc et, malgré plusieurs essais, elles n'ont pas survécu. Les portes mixtes, c'est-à-dire composées, partie en bois, partie en métal, ne paraissent pas devoir se propager davantage ; elles auront toujours l'inconvénient d'associer deux matières d'une durée et d'une résistance très-inégales.

Nous étudierons donc successivement :

- 1° Les portes en bois,
- 2° Les portes en fonte,
- 3° Les portes en fer.

1° PORTES EN BOIS

Les portes en bois ont leur poteau tourillon coupé à 0^m,05 au-dessus du radier et le poteau busqué à 0^m,08 ; l'entretoise inférieure est à 0^m,10 au moins au-dessus du radier ; l'entretoise supérieure ne s'élève généralement pas à plus de 0^m,10 au-dessus du niveau de la retenue d'amont. Les deux poteaux ne dépassent l'entretoise supérieure que de 0^m,10 à 0^m,15, à moins qu'on ne les élève jusqu'au-dessus des bajoyers, pour les réunir par une longue pièce horizontale appelée balancier, fort en usage sur les canaux, pour la manœuvre des portes.

Il arrive que les madriers du bordage sont en autant de morceaux qu'il y a d'intervalles entre les entretoises ; chaque morceau est fixé à ses extrémités dans une feuillure ménagée dans les entretoises qu'il réunit.

Cette disposition est économique, mais défavorable à une bonne répartition des pressions, et il est préférable de recourir pour la confection des bordages à des madriers régnant sur toute la hauteur, cloués sur les entretoises.

Les assemblages des entretoises et des poteaux sont consolidés soit par des étriers, soit par des équerres doubles ou triples ; des boulons en fer réunissent alors les équerres de deux faces opposées. Souvent on emploie des équerres en fonte placées sous les entretoises dans l'angle dièdre droit qu'elles font avec les poteaux ; elles sont fixées avec de fortes vis à bois à filet triangulaire, que l'on enduit de suif avant de les introduire dans leur trou.

C'est une bonne mesure que de recourir à des écharpes ou tirants en fer dirigés suivant la diagonale que n'occupe pas le bracon, et même à des écharpes horizontales réunissant les deux poteaux. Cela assure et maintient la rigidité des assemblages. Ces écharpes en fer sont formées de deux pièces réunies par un tendeur à vis ou par un assemblage à coins. Avec ce système, on peut exercer un serrage énergique et rétablir l'adhérence des pièces lorsqu'elle a diminué par l'usage.

Il va sans dire que le montage et l'assemblage des portes d'écluses doivent être faits avec le plus grand soin sur le chantier, et qu'il faut opérer au moyen de coins un serrage énergique des portes dans le sens transversal, afin de faire pénétrer complètement les abouts des entretoises dans les faces des poteaux.

La mise en place des portes se fait au moyen de mouffles et d'une bigue à trois branches lorsque l'écluse est à sec. Quand l'écluse est en eau, la porte est amenée en place par flottaison ; généralement il faut la soutenir par quelques barriques vides. Lorsqu'elle est arrivée dans la chambre, on la soulève avec une bigue pour amener le poteau tourillon dans la position convenable et pour la poser sur la crapaudine scellée dans la bourdonnière. Les portes sont lancées à l'eau ou amenées dans le sas vide au moyen de plans inclinés avec glissières savonnées.

Les portes d'écluses doivent toujours être peintes avec soin ; les assemblages sont garnis de coaltar avant le montage.

L'entretoise inférieure butait autrefois contre le heurtoir en pierre du busc ;

mais cette fermeture n'était pas bien étanche, et on a vu des claveaux du busc s'épauffrir sous la pression lorsqu'une pierre était par hasard interposée entre l'entretoise et le heurtoir. Aussi l'emploi du faux busc en chêne est-il aujourd'hui général ; ce faux busc est maintenu par des boulons scellés dans le radier avec le plus grand soin.

Les scellements s'effectuent maintenant surtout avec du ciment pur ; il est très-rare que l'on pratique les scellements au soufre, qui, surtout à l'air, entraînent des résultats funestes ; le soufre attaque le fer et forme un sulfure noir ; il y a expansion de la matière et rupture de la maçonnerie ; les scellements au plomb se pratiquent encore, mais ils offrent quelque danger lorsqu'on verse le plomb dans une cavité humide, des projections sont à craindre et l'on doit enlever de suif les parois du trou.

La crapaudine femelle, qui embrasse le pied du poteau tourillon, affecte la forme d'un sabot ; elle embrasse sur une certaine longueur l'entretoise inférieure ; elle consolide ainsi l'assemblage et n'est pas exposée à se séparer du poteau qui tournerait sans elle.

La crapaudine mâle, scellée dans le radier, ne se termine pas par une embase circulaire ; car, sous l'influence du frottement, cette embase pourrait vaincre la résistance du scellement et être entraînée dans le mouvement de rotation du poteau ; on lui donne donc une forme carrée en plan, ou une forme mi-circulaire, mi-carrée.

Quant aux autres détails de construction et de manœuvre, on les trouvera dans les exemples suivants.

Porte d'écluse du canal du Berry. — Les figures 7 et 8 de la pl. XXXVIII représentent en élévation et en coupe verticales la porte à un seul vantail d'une écluse du canal du Berry. Cette écluse, de 2^m,70 de large, est elle-même représentée par les dessins de la planche XXXVI ; c'est sur cette dernière planche qu'on trouvera les dimensions des enclaves et du heurtoir.

Les entretoises intermédiaires de la porte qui nous occupe ont un équarrissage de 0^m,20 sur 0^m,25 ; les deux entretoises inférieures et l'entretoise supérieure sont à section carrée de 0^m,25 de côté. — Les poteaux ont 0^m,25 sur 0^m,30, et l'épaisseur du bordage est de 0^m,05.

Des étriers en fer entourent les poteaux et, se retournant sur deux faces verticales de chaque entretoise, consolident les assemblages. On s'oppose, du reste, à la déformation du cadre au moyen d'une grande double équerre en fonte, faite d'un seul morceau, boulonnée sous l'entretoise supérieure et sur les faces verticales internes des deux poteaux. Sur la face d'aval, deux madriers abritent cette pièce de fonte contre les chocs.

On remarquera que les entretoises sont inégalement espacées ; en effet, elles sont assimilées à des poutres horizontales indépendantes et calculées pour résister à la charge d'eau que leur transmettent les deux demi-travées adjacentes du bordage. Cependant, ce bordage est continu et répartit la pression sur toutes les entretoises. La largeur totale de la porte est de 5^m,20.

À la base, entre les deux entretoises inférieures, on voit deux ventelles en fonte ouvrant chacune un orifice de 1^m,19 sur 0^m,25. Ces orifices ont beaucoup plus de largeur que de hauteur, afin d'ouvrir un grand passage à l'eau pour un faible mouvement ascensionnel de la vanne. C'est une condition indispensable pour la rapidité et la facilité des manœuvres, et afin qu'on ne soit pas forcé de recourir à des tiges dentées de grande longueur. — En 1851, la porte que nous venons de décrire a coûté 4 250 francs.

Calcul de la résistance des ventelles. — Il faut calculer les ventelles de manière à ce qu'elles résistent à l'effort qu'elles supportent ; à cet effet, on supposera qu'elles ne reposent sur leurs cadres que par les deux grands côtés, et on les calculera comme des poutres chargées uniformément et reposant sur deux appuis. En réalité, les ventelles s'appuient sur leurs cadres par leurs quatre côtés, mais alors la répartition des pressions est indéterminée en théorie, et nous n'avons point de méthode pour l'obtenir.

La ventelle étant suffisamment épaisse pour résister, il faut chercher maintenant la valeur de l'effort de traction qu'on devra exercer pour la soulever et pour vaincre le frottement de glissement de cette ventelle sur son cadre.

Cette recherche est facile ; voici le calcul pour le cas actuel :

La chute de l'écluse est de 2^m,50 ; la pression qui s'exerce sur une ventelle est donc exprimée en kilogrammes par

$$4,19 \times 0,25 \times 2500 = 744$$

Les côtés du cadre étant garnis d'une lame de fer, il y aura à vaincre le frottement de glissement de la fonte sur le fer.

Le coefficient du frottement, dans le cas des métaux mouillés, est voisin de 0,30 ; pour des métaux secs, il varie de 0,18 à 0,20. — Il convient dans le cas actuel d'adopter 0,30.

Il en résulte une résistance totale de 225 kilogrammes, à laquelle il faut ajouter le poids de la ventelle et de sa tige pour avoir la valeur de l'effort à exercer pour soulever une ventelle.

La tige verticale de traction est en fer ; elle peut travailler à 6 kilogrammes par millimètre carré ; on donne généralement une section supérieure à la section calculée parce que la tige doit agir non-seulement par traction, mais aussi par compression lorsqu'il s'agit de baisser la ventelle. — Cette longue tige verticale est alors exposée à flamber et à se déformer, bien qu'elle soit maintenue et guidée par des pitons ou anneaux fixés aux entretoises.

Si la crémaillère, qui termine la tige, engrène avec un pignon de 0^m,40 de diamètre mù par une manivelle de 0^m,50 de rayon, il suffira d'exercer sur cette manivelle un effort dix fois moindre que l'effort de traction précédemment calculé.

L'effort à exercer peut, du reste, être réduit dans une proportion quelconque par une roue intermédiaire.

Nous ne reviendrons pas sur ces calculs simples qui sont du ressort de la mécanique pratique et que nous avons traités dans une autre partie de l'ouvrage.

Remplissage des sas d'écluses. — Puisque nous nous occupons en ce moment des ventelles destinées au remplissage et à la vidange des sas, il convient de rappeler les autres systèmes mis en œuvre à cet effet.

Dans les anciennes écluses, à murs de chute complets, l'eau s'échappant des ventelles des portes d'amont forme cataracte, dégrade les maçonneries et même se projette sur les bateaux, ce qui force à faire les sas un peu plus longs qu'il n'est nécessaire. — Avec des murs de chute incomplets ou nuls, ces inconvénients sont atténués, mais il en résulte une augmentation dans la hauteur des portes d'amont.

Dans tous les cas, les ventelles donnent naissance, surtout dans les premiers moments du remplissage, à un fort courant horizontal, qui repousse d'abord le

bateau vers l'aval, puis celui-ci revient sur le plan incliné formé par la surface de l'eau ; s'il n'est amarré solidement il peut causer aux portes et à lui-même de graves avaries. — Aussi est-on forcé souvent d'ouvrir lentement les ventelles.

Siphons de Gauthey. — Les siphons de Gauthey avaient pour but de remédier à cet inconvénient des ventelles. — La figure 1 de la planche XLIII représente la disposition de ces siphons à l'amont et à l'aval d'une écluse : les siphons d'amont dégorgent sous une voûte pratiquée dans le massif du mur de chute ; le bateau qui se trouve dans le sas n'est donc pas atteint par l'eau jaillissante et s'élève avec un grand calme.

Sur le canal de Briare il y a quelque chose d'analogue, ce sont des aqueducs deux fois recourbés à angle droit, débouchant d'un bout dans le sas, et de l'autre dans le bief d'amont ou dans le bief d'aval ; ces aqueducs sont fermés en tête par une vanne. Ils suppléent les ventelles et permettent de faire des portes pleines. Mais ces aqueducs, débouchant dans les bajoyers du sas, donnent lieu à des courants transversaux qui se réfléchissent et agitent les bateaux. — Les siphons de Gauthey n'ont pas cet inconvénient.

Les premiers siphons de Gauthey, au canal du Centre, étaient fermés par des tampons en bois qui joignaient mal et perdaient l'eau. — On leur a substitué des clapets qui étaient meilleurs ; mais ce qui a donné des résultats préférables, ce sont les vannes de M. Vallée, vannes dont les figures 2, 3 de la pl. XLIII donnent un spécimen.

L'entrée de chaque siphon est fermée par un châssis fixe portant deux vides A, A, de 0^m,20 de hauteur ; la vanne présente un pareil vide A' entre deux parties pleines. — En levant la vanne de 0^m,20, on ouvre donc un débouché de 0^m,40 de hauteur, ce qui permet, vu la moindre résistance, de substituer au cric un levier de manœuvre de 2 mètres de longueur, comme l'indique la figure.

Dans les écluses où les siphons n'étaient pas établis, M. Comoy a eu recours, pour briser la projection horizontale de l'eau, tantôt à des grilles placées derrière les ventelles et dont les barreaux amortissent et divisent le courant, tantôt à des écrans ou plaques de tôle fixés derrière chaque vantail ; ces écrans brisent le jet horizontal et le forcent de se retourner verticalement.

Vanne Vallée. — La vanne Vallée que nous venons de décrire plus haut, qui se compose de plusieurs plaques équidistantes correspondant à des orifices distincts, et qui offre l'avantage d'ouvrir un grand débouché pour un faible déplacement vertical, a été adoptée pour les grandes portes d'écluses. Nous en trouverons plus loin des exemples.

Portes d'écluse du canal d'Orléans. — Les figures 4 à 6 de la pl. XXXVIII représentent en plan, coupe et élévation, les vantaux d'amont et d'aval de l'écluse de la Jonchère, située sur le canal d'Orléans.

Ces vantaux ont 5^m,25 de largeur totale ; le vantail d'amont a 4^m,80 de hauteur totale et celui d'aval 6^m,48.

Pour le vantail d'amont, la manœuvre se fait au moyen d'un balancier faisant saillie de 5^m,50 au delà du poteau tourillon ; ce balancier équilibre en partie le poids de la porte. C'est le moyen de manœuvre le plus simple ; il est aussi le plus commode. Mais il ne saurait convenir aux grandes écluses, ni même aux petites écluses de rivières ; dans ce cas, en effet, les écluses sont exposées à être submergées lors des crues, les parties saillantes engendrent alors des remous et des courants dangereux pour les ouvrages.

La construction des deux vantaux est à peu près semblable ; considérons donc

le vantail d'amont. Le cadre est formé par deux poteaux de 0^m,50 sur 0^m,25 d'équarrissage et par quatre entretoises de 0^m,25 sur 0^m,25, non compris l'entretoise supérieure qui se prolonge par le balancier.

Les entretoises, également espacées, laissent entre elles des panneaux de 0^m,78 de hauteur.

Des étriers du côté du poteau tourillon, et des lames de fer du côté du poteau busqué, consolident les assemblages. Les têtes des écrous sont tournées vers l'amont, afin que, les portes étant fermées, les bateaux ne soient pas exposés à s'érafler contre ces têtes. Ces bandes de fer ont 0^m,10 de largeur et 0^m,02 d'épaisseur.

Le bracon est formé de deux parties moisées ensemble au moyen de boulons ; la partie d'amont est d'une seule pièce, elle se trouve arasée dans le plan même du bordage, son épaisseur est de 0^m,12 ; elle est assemblée par entailles au passage de chaque entretoise ; l'entaille du bracon est de 0^m,05, celle des entretoises de 0^m,02 ; avec l'épaisseur du bordage de 0^m,05, cela représente l'épaisseur totale 0^m,12 du bracon. Cette disposition se voit plus nettement sur le vantail d'aval.

A l'aval, la seconde partie du bracon, la fourrure, est composée d'autant de morceaux que les entretoises forment de panneaux. Chaque morceau s'assemble à embrèvement avec les entretoises comme le montrent les deux élévations d'aval. Le bracon et ses fourrures sont moisés ensemble au moyen de boulons en fer.

Le bordage, de 0^m,05 d'épaisseur, est posé parallèlement au bracon et assemblé à rainures avec les entretoises. Ce bordage n'est pas continu sur toute la hauteur.

Chaque porte est munie d'une ventelle en bois garnie de fer de 0^m,80 sur 0^m,85, porte dont le cadre est complété par deux potelets de 0^m,20 sur 0^m,25.

La passerelle, placée à l'amont, du côté que les ventelles se manœuvrent, a 0^m,75 de large, et est soutenue par des équerrres en fer.

L'entretoise inférieure est à 0^m,10 au-dessus du radier et l'entretoise supérieure à 0^m,20 au-dessus du plan d'eau d'amont.

Les ventelles sont formées de deux cours de madriers superposés à joints croisés ; elles se manœuvrent au moyen de tiges de fer plat terminées par une crémaillère à pignon et manivelle. Voici le détail estimatif de la dépense pour les quatre portes de l'écluse :

INDICATION DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	PRIX DE L'UNITÉ.	DÉPENSES PAR ARTICLE.
VANTAUX D'AMONT ET D'AVANT DE L'ÉCLUSE DE LA JONCHÈRE.			
		fr.	fr.
Charpente en chêne.	15 ^m ,924	255,00	3.272,14
Fers forgés de première classe.	180 ^m ,00	5,75	675,00
Fers forgés de deuxième classe.	4500 ^m ,00	1,10	4.750,00
Bronze.	52 ^m ,00	6,10	193,20
Fonte moulée de deuxième fusion.	516 ^m ,00	0,42	216,72
Scellement au plomb des colliers.	4 ^m ,00	85,00	540,00
Scellement au ciment des crapaudines.	4 ^m ,00	5,50	21,20
Scellement au plomb des boulons du busc.	12 ^m ,00	15,65	187,80
Scellement au plomb d'une tige de fer de 0 ^m ,12 à 0 ^m ,20 de scellement.	2 ^m ,00	5,00	6,00
Peinture à l'huile à trois couches sur fers.	50 ^m q,00	1,50	45,00
Peinture à l'huile à trois couches sur bois.	50 ^m q,00	1,05	52,67
Peinture à la glu marine noire à trois couches sur bois.	186 ^m q,00	1,00	186,60
Calfatage.	160 ^m q,00	1,15	184,00
		Total.	10.112,55

La surface entière des portes est d'environ 75 mètres carrés, ce qui donne une dépense de 140 francs par mètre carré de porte.

Portes du canal de Saint-Quentin.— Les figures 4, 5 et 6 de la planche XL représentent, d'après M. l'ingénieur en chef Lermoyez, les portes en bois du canal de Saint-Quentin.

Le poteau tourillon a 0^m,55 sur 0^m,50 et le poteau busqué 0^m,50 sur 0^m,50 d'équarrissage. Ce dernier équarrissage est aussi celui des entretoises.

Le bracon est composé de deux pièces, moisées comme nous l'avons expliqué plus haut pour les portes du canal d'Orléans.

Le bordage, de 0^m,05 d'épaisseur, est parallèle au bracon et règne sur toute la hauteur, au lieu d'être coupé à chaque entretoise; il s'assemble à rainure dans les entretoises extrêmes.

Les angles des entretoises et des poteaux sont consolidés par des équerres en fonte, fixées par des vis, d'un modèle uniforme, qui assurent la rigidité du système.

Le bracon s'assemble à tenon et mortaise avec embrèvement, à son sommet avec l'entretoise supérieure dont le prolongement constitue le balancier, à sa base avec le poteau tourillon.

La passerelle de manœuvre, placée à l'amont de la porte, a 0^m,60 de large.

On remarquera la disposition de la ventelle, qui est partagée en trois orifices distincts de 1^m,40 de large et de 0^m,15 de hauteur; de sorte que pour une course verticale de 0^m,15, on ouvre en réalité un orifice de 0^m,45 de hauteur.

La vanne, dont le cadre est guidé par une rainure en fer, est manœuvrée par une tige verticale en fer plat, terminée en haut par une crémaillère. La dite crémaillère engrène avec un pignon dont une partie de la circonférence seulement est dentée, car il suffit qu'il donne un déplacement de 0^m,15. A l'axe de ce pignon correspond un levier fixe.

Le pignon a 0^m,15 de diamètre et le levier 0^m,75 de long. L'effort à exercer

sur le levier est donc dix fois moindre que celui que la tige de traction exerce sur le pignon.

Avec une chute d'écluse de $2^m,50$, la ventelle, dont la surface est de $0^m,963$, reçoit une pression totale de 1575 kilogrammes. Avec le coefficient de frottement $0^m,20$, cela fait sur la tige de traction un effort de 515 kilogrammes qui se transmet à la circonférence du pignon, et qui correspond à un effort de $51^k,15$ à l'extrémité du levier.

Ces portes d'écluses ne reviennent qu'à 135 francs le mètre superficiel.

Portes d'écluse du barrage de Melun (Haute-Seine).— Les figures 10 et 11 de la planche XXXIX représentent les portes de l'écluse accolée au barrage de Melun. Ces portes ont $5^m,82$ de haut sur $6^m,82$ de large; la largeur de l'écluse est de 12 mètres.

Elles sont formées de trois entretoises et de deux poteaux, consolidés par un bracon en deux morceaux qui s'assemblent dans les entretoises par l'intermédiaire de fourrures en fonte avec embrèvement.

On voit que les angles sont consolidés par des équerres et des T en fer et par des équerres en fonte.

Une écharpe en fer, avec serrage à vis relie l'entretoise supérieure près du poteau tourillon à un sabot en fonte qui termine le poteau busqué.

La crapaudine femelle est en fonte et a la forme d'un sabot qui embrasse non-seulement la base du poteau tourillon, mais encore la partie inférieure de l'entretoise adjacente.

Les ventelles sont divisées en trois ouvertures de $1^m,03$ de large sur $0^m,14$ de haut, et il y a deux ventelles par porte. Ces ventelles sont manœuvrées comme celles du canal de Saint-Quentin au moyen d'un levier à main de $1^m,50$ de long, agissant sur un pignon de $0^m,15$ de rayon, lequel fait mouvoir la crémaillère qui termine la tige verticale des ventelles.

La manœuvre des portes se fait au moyen d'un arc denté manœuvré par un treuil à axe vertical fixé sur les bajoyers le long de l'enclave.

Le poteau tourillon a $0^m,50$ sur $0^m,40$; le poteau busqué et les entretoises $0^m,40$ sur $0^m,40$; le bordage vertical est en madriers de $0^m,05$ d'épaisseur. Ces madriers sont assemblés à feuillures dans les entretoises et les poteaux, et la partie engagée dans la feuillure est recouverte d'une bande de fer plat formant cadre; c'est sur cette bande que portent les têtes des vis à bois.

Les trois entretoises sont inégalement espacées; l'intervalle entre l'entretoise supérieure et celle du milieu est de $0^m,84$. Comme le panneau correspondant aurait une dimension horizontale trop forte, on l'a coupé en trois au moyen de deux potelets de $0^m,24$ sur $0^m,32$, placés chacun à $0^m,86$ du poteau correspondant.

L'équarrissage de l'écharpe en fer est de $0^m,080$ sur $0^m,055$.

La crapaudine mâle, scellée au plomb dans la bourdonnière, est représentée par la figure 12; la semelle a $0^m,05$ d'épaisseur, et le mamelon de $0^m,12$ de hauteur a $0^m,12$ de diamètre. Cette crapaudine est en fonte; on remarquera la forme qu'elle affecte en plan, forme qui a pour but, ainsi que nous l'avons expliqué déjà, d'empêcher la crapaudine de tourner avec le poteau tourillon.

Le poteau tourillon porte à sa base la crapaudine femelle, large sabot en fonte; à son sommet, il est relié latéralement à l'entretoise par un étrier en fer plat de 85 sur 20 millimètres; il est coiffé d'un chapeau en fer forgé surmonté d'une boucle; c'est dans cette boucle et dans le chapeau que s'engage le boulon vertical placé dans l'axe de rotation.

Le chapeau est solidement relié à la face supérieure de l'entretoise par une bande de fer plat boulonnée. Le boulon de rotation du poteau de 0^m,10 de diamètre, est maintenu par deux tirants en fer forgé, logés dans la maçonnerie du bajoyer; ces tirants, de 80 sur 75 millimètres d'équarrissage, ont 5^m,20 de longueur, ils sont horizontaux, mais portent chacun quatre œils dans lesquels s'engagent quatre goujons en fer, de 1 mètre de longueur, scellés au ciment.

Les poteaux et entretoises sont assemblés par tenons et mortaises de 0^m,20 de profondeur.

Le garde-corps en fer de la passerelle est disposé de manière à pouvoir être enlevé lors des crues; on sait, en effet, que le moindre obstacle sur la plateforme d'une écluse gêne l'écoulement et peut déterminer des avaries.

La crémaillère circulaire en fonte, qui sert à fermer et à ouvrir les portes, a 2 mètres de rayon; son centre coïncide évidemment avec celui du poteau tourillon. Cette crémaillère engrène avec un pignon mù par une roue dentée, actionnée elle-même par un pignon que fait tourner une clef verticale. Toutes ces roues sont horizontales et logées dans une chambre recouverte de madriers en chêne.

Résistance d'un vantail au mouvement de rotation. — On peut se proposer de calculer la résistance que présente un vantail d'écluse au mouvement de rotation qu'on veut lui imprimer autour de son poteau tourillon.

Dans ce calcul, il convient d'abord de négliger la perte du poids due à la poussée de l'eau dans laquelle la porte est partiellement immergée; il peut arriver, en effet, telle circonstance où il faille manœuvrer les portes l'écluse étant à sec.

On peut supposer le poids entier de la porte concentré sur le poteau tourillon, pourvu qu'on ajoute à ce poids un couple de rotation sous l'influence duquel la porte tend à baisser le nez. Ce couple est annulé par la résistance des tirants qui maintiennent le boulon supérieur du poteau tourillon.

Le frottement à vaincre se compose donc de deux termes :

1^o Le frottement du pivot sur la crapaudine à la base du poteau tourillon, frottement dû au poids total P de la porte.

2^o Le frottement du boulon supérieur dans l'œil des tirants qui le maintiennent.

1^o Si r est le rayon du mamelon de la crapaudine, nous savons que le frottement pendant la rotation est représenté par une force

$$\left(\frac{2}{3} f.P\right)$$

appliquée à la circonférence du mamelon, c'est-à-dire à la distance r de l'axe de rotation. Le moment de cette force résistante est donc

$$\left(\frac{2}{3} f.P.r\right).$$

2^o Si h est la hauteur et l la largeur de la porte, comme on peut admettre que le centre de gravité se trouve à peu près au milieu de la largeur, le moment de la force qui tend à renverser la porte en la faisant tourner dans son plan vertical autour d'une horizontale passant par le mamelon de la crapaudine, le moment de cette force est :

$$P \frac{l}{2}.$$

Elle est équilibrée par la réaction totale R des tirants qui maintiennent le sommet du poteau tourillon, réaction dont le moment est Rh . On a donc pour déterminer la réaction R l'équation :

$$P \cdot \frac{l}{2} = R \cdot h.$$

La valeur de R, tirée de cette équation, permettra même de calculer l'équarissage des tirants en fer noyés dans la maçonnerie.

Connaissant R, la valeur du frottement agissant sur la circonférence du boulon qui termine le poteau tourillon sera Rf , et si r' est le rayon de ce boulon, il en résultera un moment résistant $R \cdot f \cdot r'$.

Ajoutant les deux moments résistants que nous venons de trouver, on aura le moment de l'effort à exercer pour la manœuvre des portes. On en déduira la valeur même de cet effort si on se donne son point d'application.

Appliquons ces principes au vantail de l'écluse de Melun.

Ce vantail renferme :

6 ^m ,57 de bois à 750 kilogrammes le mètre cube.			4927 kilogrammes.
fonte — —			1405 —
fer — —			1551 —
		Poids total P.	7885 —

Admettons pour valeur du coefficient de frottement de fonte sur fonte ou de fer sur fer mouillés 0^m,50; le rayon r du mamelon de la crapaudine est égal à 0^m,06, le rayon r' du boulon supérieur est égal à 0^m,05; la largeur l est de 6^m,80 et la hauteur h de 3^m,80.

La réaction R des tirants au sommet du poteau tourillon est donc de 7015 kilogrammes.

Le moment du frottement sur le mamelon de la crapaudine est de 94,56, et celui du frottement sur le boulon supérieur est de 105,22.

D'où un moment résitant total égal à 199,78.

Dans le cas actuel, où la puissance agit sur une crémaillère courbe de 2 mètres de rayon, l'effort à exercer pour la manœuvre des portes, à la circonférence de cette crémaillère, est de 100 kilogrammes.

La connaissance de cet effort permet de fixer les rayons des roues dentées et pignons.

Résistance de la crapaudine. — Le mamelon de la crapaudine est chargé de 7885 kilogrammes pour une section circulaire de 0^m,06 de rayon.

Cette section correspond à environ 41 000 millimètres carrés, ce qui par millimètre carré donne une pression de 0^k,7. C'est peu pour de la fonte; seulement, il convient de remarquer que le mamelon est exposé à des porte à faux, et il est prudent, dans l'espèce, de ne pas dépasser une pression de 1 kilogramme par millimètre carré.

Résistance de la bourdonnière. — L'embase de la crapaudine s'appuie sur la bourdonnière par une surface d'environ 1500 centimètres carrés. Il en résulte une pression d'environ 6 kilogrammes par centimètre carré, ce qui est peu de chose pour une bonne pierre de taille.

Prix des portes de l'écluse de Melun. — Voici le détail estimatif des quatre portes du barrage de Melun; ces quatre portes sont égales :

INDICATION DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.	PRIX	
		ÉLÉMENTAIRE.	PRODUIT.
		fr.	fr.
Bois de chêne première qualité	26 ^m , 295	250,00	6.575,25
Fonte ordinaire pour crapaudines, équerres	5656 ^k ,88	0,50	1.818,44
Fonte pour crémaillère de manœuvre et crapaudines des petits arbres	4986 ^k ,12	0,70	1.590,28
Fers ordinaires pour grosses pièces	4117 ^k ,57	0,90	1.005,65
Fers ordinaires pour petites pièces	2685 ^k ,70	1,05	2.819,99
Fers alésés, tournés ou polis	2553 ^k ,55	2,20	5.158,17
Tôle pour calottes des poteaux	67 ^m ,00	1,50	87,10
Vis de 0 ^m ,12 pour fixer les tôles	76,00	0,25	19,00
Vis de 0 ^m ,10 pour fixer les bordages	980,00	0,15	147,00
Bronze des godets des crapaudines des petits arbres	53 ^k ,10	5,50	122,85
Scellements des tirants et goujons des colliers des portes	4,00	100,00	400,00
Scellements des crapaudines inférieures des portes	4,00	5,00	20,00
Plomb pour ces scellements	50 ^k ,00	0,90	45,00
Peinture sur les fers et les fontes	120 ^m q,00	1,20	144,00
Goudronnage des bois	544 ^m q,50	0,70	241,45
Total			19.974,86

Ce qui fait par vantail une dépense de 4992^{fr},96 pour une superficie de 26^mq,05; il en résulte une dépense de 191^{fr},67 par mètre carré.

Porte d'écluse du canal Saint-Martin. — Les figures 4 à 6 de la pl. XXXIX représentent les portes d'écluse à cadre en bois avec bordages en tôle construites pour le canal Saint-Martin, à Paris.

La hauteur totale d'une porte, mesurée sur le poteau busqué, est de 5^m,71 et sa largeur est de 4^m,67; la largeur de l'écluse est de 7^m,80.

Les trois entretoises inférieures, ainsi que l'entretoise supérieure, ont 0^m,50 sur 0^m,55 d'équarrissage; les deux autres n'ont que 0^m,25 de hauteur. Le poteau tourillon a 0^m,40 sur 0^m,55 et le poteau busqué 0^m,55 sur 0^m,55.

Les équerres d'assemblage des poteaux et des entretoises sont en fer plat de 0^m,07 sur 0^m,01; les ferrures d'assemblage des potelets des ventelles n'ont que 0^m,060 sur 0^m,009.

Le bracon est formé d'autant de morceaux qu'il y a de panneaux horizontaux; il est renforcé par une écharpe en fer plat de 0^m,060 sur 0^m,015 dont le serrage peut être réglé au moyen d'un verrin.

Les quatre angles du cadre sont consolidés par des équerres en fonte.

Les entretoises ne sont pas tout à fait également espacées; cependant leur distance d'axe en axe est d'environ 4 mètre.

Le bordage est composé de feuilles de tôle rivées à revêtement; sur les bords du cadre elles pénètrent dans une feuillure et l'about de la tôle est recouvert d'une bande de fer de 0^m,08 sur 0^m,015 sur laquelle s'appliquent les têtes des vis à bois.

Il y a deux ventelles en tôle à chaque porte. Ces ventelles, guidées latéralement dans des rainures verticales, sont manœuvrées par des tiges en fer de 0^m,06 sur 0^m,011, que terminent des crémaillères.

La passerelle de service est soutenue par des équerres boulonnées sur l'entretoise supérieure.

Les figures 7, 8 et 9 donnent les détails des colliers et tirants qui maintiennent la partie supérieure du poteau tourillon.

La manœuvre des portes se fait au moyen d'un arc de cercle denté, mis en action par un treuil à axe vertical. L'arc denté a 1^m,41 de rayon.

Le faux-busc de 0^m,20 d'équarrissage est fixé dans la maçonnerie du busc par des boulons de scellement à tête fraisée.

Il entre dans deux vantaux 10^m,60 de bois de chêne premier choix à 250 fr. le mètre cube, et 4000 kilogrammes de fer, tôle et fonte à 1 franc le kilogramme; la pose et l'ajustage des ferrures a coûté 740 francs et la mise en place d'un vantail 712 francs.

Tout compris, les deux vantaux sont revenus à 8500 francs.

Portes d'écluse du canal de la Marne au Rhin. — Dans son ouvrage sur le canal de la Marne au Rhin, M. Graëff, inspecteur général des ponts et chaussées, présente les observations suivantes sur les portes d'écluse du versant du Rhin :

« Ces portes sont en bois ; le système a été perfectionné par M. l'ingénieur en chef Jaquiné, au moyen de grands boulons reliant les poteaux busqués et tourillons dans le vantail ; cette disposition augmente la rigidité des portes qui sont très-étanches quand elles sont bien posées. Le système des crics est perfectionné et des plus commodes, en ce qu'il prend peu de place sur la passerelle ; les pignons sont en fer trempé au baquet, ainsi que les crémaillères.

Les joints des bordages sont recouverts de bandelettes en tôle de 0^m,05 de largeur clouées sur le bois. Ces bordages sont tout à fait jointifs ; seulement, du côté de la bandelette, les joints sont découpés sur la moitié de leur épaisseur en un triangle qui a 0^m,05 de base sur 0^m,05 de hauteur ; on le remplit d'étoupes qu'on y foule avec force, on y coule du brai ; on a soin de laisser un peu déborder le remplissage, et puis on cloue la bandelette qui comprime l'étoupe renfermée dans ce joint prismatique triangulaire et le rend parfaitement étanche.

Quand on pose les portes, quelque soin qu'on ait pris à tracer l'épure des chardonnets, il arrive rarement que du premier coup on obtienne une adhérence complète du poteau tourillon contre la partie pleine du chardonnet, adhérence dans laquelle réside le plus grand succès de l'opération. Il faut donc ne pas sceller définitivement les crapaudines, afin de pouvoir les changer un peu de place jusqu'à ce qu'on obtienne le résultat désiré. C'est un petit tâtonnement que le constructeur le plus habile ne peut éviter ; il arrive d'ailleurs souvent que des portes, qui perdaient au poteau tourillon lors de la mise en eau, finissent par ne plus perdre au bout d'un certain temps, les petites aspérités du poteau s'étant usées contre la pierre par le mouvement des portes ; dans ce cas, si la crapaudine n'est pas scellée dans le radier, elle suit le petit mouvement du poteau et, en la scellant définitivement au premier chômage, on obtient un résultat parfait ; si on l'avait scellée de suite, le poteau n'aurait plus eu aucune liberté, et la porte aurait toujours continué à couler. Cette précaution est des plus importantes dans la construction des portes d'écluse. Il n'y a d'ailleurs, sous le rapport de la solidité, aucun inconvénient à laisser pendant un an et même davantage les crapaudines sans scellement.

Les portes s'ouvrent au moyen de béquilles en fer rond, s'accrochant à un anneau fixe que porte la monture de la passerelle de la porte ; la poignée est en bois et l'éclusier ouvre le vantail en tirant la béquille avec les deux mains. Ce

système est, de tous ceux qu'on emploie pour ouvrir les portes d'écluses, le moins savant, mais il est loin d'être le plus mauvais. »

Ventelles tournantes. — On reproche aux ventelles ordinaires, glissant dans un cadre vertical, d'exiger une manœuvre assez longue et des appareils assez compliqués.

En ce qui touche la durée de la manœuvre, le reproche est peu fondé et avec les systèmes ordinaires on peut réduire cette durée à peu de chose. Il n'en est pas de même pour la complication des appareils.

Il est certain qu'une ventelle à axe de rotation vertical, cet axe étant placé au milieu même de la ventelle, serait beaucoup plus commode; on n'aurait à vaincre pour l'ouvrir qu'un très-faible effort et une simple manivelle horizontale suffirait à la manœuvre. Mais, avec des cadres rectangulaires, on n'a jamais pu obtenir une adhérence parfaite de la ventelle et de son cadre, au moins pour la moitié de la ventelle qui tend à s'ouvrir vers l'aval; aussi l'usage ne s'en est-il pas répandu.

Les ingénieurs belges ont eu recours, sur le canal de Bruxelles à Charleroy, à la ventelle tournante que représente la figure 8 de la planche XXVIII.

L'orifice d'écoulement est un bout de tuyau en fonte *mn*, boulonné sur les pièces en bois de la porte.

Ce tuyau est parfaitement alésé.

Il peut être fermé par une vanne papillon, dont *ab* est la section horizontale; cette vanne est elliptique, son grand axe est *ab* et son petit axe est le diamètre même du tuyau *mn*. Il est certain que, si on lui avait donné une section circulaire égale à celle du tuyau, l'obturation n'eût jamais été bonne, tandis qu'avec la forme adoptée l'obturation est rendue aussi parfaite que possible.

La vanne *ab* est traversée en son centre par l'axe vertical *cc'*, qui se termine sur la passerelle de la porte par une manivelle horizontale *ed*.

On voit que la manœuvre est des plus simples; la manivelle est arrêtée à chaque extrémité de sa course par des taquets solides.

Le diamètre de ces ventelles est de 0^m,50.

2° PORTES EN FONTE

Les portes en fonte ont été à plusieurs reprises vivement préconisées; elles n'ont jamais pu se faire adopter d'une manière définitive, parce que la fonte résiste mal aux chocs et que plusieurs accidents graves ont inspiré toujours une grande défiance. Les ingénieurs hésitent, on le conçoit, à employer un système qui expose les voies navigables à des chômages accidentels, entraînant pour la batellerie et pour le commerce des pertes énormes.

On trouvera dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1832, un rapport de M. l'ingénieur en chef Auniet, sur les portes en fonte de fer construites pour le canal du Berry, par M. Accolas. Les vantaux se composaient de panneaux en fonte, de 2 mètres de large, présentant un bombement de 0^m,10; ces panneaux s'assemblaient au moyen de rebords faisant saillie de 0^m,10 et de 0^m,02 d'épaisseur. Les joints étaient rendus étanches au moyen d'un mastic interposé dans les joints et comprimé par les boulons. Ces portes n'ont pas été conservées.

En 1833, M. Accolas fut autorisé à faire l'essai de ses portes en fonte au canal Saint-Denis à Paris. Les figures 3 et 4 de la planche XLI représentent la disposition de ces portes, destinées à une écluse de 7^m,80 de large et de 2^m,30 de chute.

Un vantail se composait de quatre plaques en fonte de 4^m,16 de large, portant un bombement de 0^m,27; les hauteurs de ces plaques variaient de 1^m,05 à 1^m,20. Les assemblages se faisaient par des rebords saillants de 0^m,10 de largeur et de 0^m,025 d'épaisseur, réunis par des boulons à écrous. Les joints étaient calfatés. L'épaisseur des plaques était de 22 millimètres. Bien qu'il n'eût pas été procédé à l'épreuve des plaques par charge directe, on était certain qu'elles étaient faites avec des fontes de bonne qualité.

Les portes furent mises en place le 27 septembre 1833; au sixième bateau montant, le sas étant plein, l'éclusier qui tenait la barre du cabestan pour ouvrir les portes d'amont fut renversé avec violence, ces portes se refermèrent; à ce moment, les portes d'aval volaient en éclats et le bateau montant était projeté violemment dans le bief inférieur qu'il venait de quitter.

Les deux plaques inférieures de chaque vantail étaient complètement brisées et il n'en restait adhérente aux maçonneries que la partie limitée en pointillé sur la figure 4, tous les boulons et barres de fer étaient tordus et dispersés.

Le bateau était amarré solidement et n'a pas eu d'avarie grâce à l'habileté des bateliers qui ont laissé filer les câbles; il est certain que ce bateau n'avait exercé sur les portes aucun choc avant l'accident. On a généralement attribué cet accident à la hâte et au peu d'habileté avec lesquels les portes avaient été assemblées.

De 1833 à 1855, M. Émile Martin a construit sur le canal de Beaucaire des portes formées de châssis en fonte avec panneaux en bois. Ces portes sont représentées par les figures 1, 2, 3 de la planche XL; elles comprennent :

Un poteau tourillon creux en fonte de fer avec fourrure en bois pour s'appliquer sur le chardonnet;

Un poteau busqué formé d'une plaque verticale en fer forgé sur laquelle est boulonné le corps du poteau qui est en bois; une traverse supérieure formant le haut du cadre;

Deux traverses inférieures comprenant entre elles les ventelles;

Deux traverses ou entretoises intermédiaires.

Le cadre ainsi assemblé est garni de bordages verticaux en bois de 0^m,05 d'épaisseur, boulonnés sur les entretoises.

Ce système de portes paraît avoir donné au canal de Beaucaire des résultats assez satisfaisants. On doit remarquer cependant que la disposition des entretoises est vicieuse au point de vue du travail de la fonte; c'est la tête du T qui travaille à la compression et le pied qui travaille à l'extension. La disposition devrait être inverse et il faudrait retourner les entretoises de 180°, de manière à placer la plus grande quantité de matière vers l'aval, là où elle doit résister à des efforts d'extension. Dans ce nouveau système le bordage serait fractionné en autant de morceaux qu'il y a de panneaux, il serait placé vers la face aval de la porte et boulonné à l'intérieur des branches du T.

La fonte, par son inaltérabilité, présente de grands avantages; quelques accidents auxquels elle a donné lieu, et qui résultent surtout d'un mauvais emploi de la matière, l'ont fait proscrire peut-être d'une manière trop absolue; il nous semble qu'avec des précautions et un emploi judicieux de ce métal, on pourrait arriver à s'en servir encore, même dans les portes d'écluses.

5° PORTES EN TÔLE

Les portes en tôle n'inspirent pas les mêmes craintes de rupture que les portes en fonte ; elles paraissent devoir durer beaucoup plus longtemps que les portes en bois. Aussi l'usage s'en est-il répandu dans ces dernières années, notamment pour les écluses de rivières qui ont des dimensions supérieures à celles des canaux. Nous décrirons, comme exemples, les portes de l'écluse du barrage de la Monnaie, à Paris, et celles du canal de Saint-Maurice, qui relie la Marne à la Seine, près Charenton.

Portes de l'écluse de la Monnaie. — Un vantail de ces portes est représenté par les figures 1, 2, 3 de la planche XXXIX.

Le système, imaginé par M. l'ingénieur en chef Poirée, est très-complicqué de construction et exige l'emploi d'excellentes tôles. Un vantail se compose de demi-cylindres en tôle à axe horizontal, rivés les uns au-dessus des autres, et présentant leur convexité vers l'amont pour résister à la poussée de l'eau.

Destinés à une écluse de 12 mètres de large et de 2 mètres de saillie du busc, ces vantaux ont 6^m,50 de largeur et 6^m,40 de hauteur.

Il y a onze demi-cylindres superposés ; ils sont reliés par quatre cours d'entretoises verticales en fer à T de 0^m,09 de largeur sur 0^m,04 de hauteur. Le diamètre des demi-cylindres est de 0^m,50, et l'épaisseur de la tôle qui les compose est de 0^m,007.

Les ventelles sont manœuvrées par des tiges verticales terminées par un écrou engagé sur une vis fixe ; une manivelle, que l'on voit sur la coupe, en travers, fait tourner la vis fixe, le long de laquelle l'écrou monte ou descend, entraînant la ventelle.

Ces portes sont très-lourdes ; elles ont, en outre, le grave inconvénient de coûter très-cher, puisqu'elles sont revenues à 425 francs le mètre carré. Ce n'est donc pas un modèle à imiter.

Portes du canal Saint-Maurice. — Ces portes ont été projetées par M. l'ingénieur en chef Malézieux, qui les a décrites dans un mémoire inséré aux *Annales des ponts et chaussées* de 1865. C'est à ce mémoire qu'est empruntée la planche XLII représentant les dispositions générales d'un vantail ; si l'on a besoin de recourir aux dessins de détail, on les trouvera dans les Annales.

Les entretoises et le cadre du vantail sont formés par des fers laminés à double T. Les fers, qui correspondent aux deux poteaux tourillon et busqué, reçoivent entre leurs ailes intérieures l'âme des entretoises, dont les ailes ont été coupées à 0^m,05 de longueur pour faciliter la pénétration. L'assemblage se fait avec des équerres en fer corroyé de 12 millimètres d'épaisseur, fixées à l'âme des entretoises par une double ligne de rivets et par une seule ligne horizontale au montant.

Le cadre est recouvert d'un bordage en tôle rivée de 4 millimètres d'épaisseur. Ce bordage oppose une résistance énergique à la déformation ; cependant, on a relié verticalement les entretoises par deux bandes de tôle à l'aval, et par un fer à T placé au milieu du vantail.

Les figures indiquent nettement la composition des poteaux busqué et touril-

lon ; nous avons donné précédemment l'épure du chardonnet pour ce genre de portes métalliques.

La pression que les vantaux fermés exercent sur les bajoyers ne se transmet pas seulement par les deux extrémités du poteau tourillon ; il y a deux disques ou plaques de fonte intermédiaires, fixées au poteau tourillon et s'appuyant contre d'autres plaques de fonte scellées dans le parement du chardonnet. Ces dernières ont une embase suffisante pour qu'on n'ait pas à craindre l'écrasement de la maçonnerie.

Les ventelles, également en tôle, glissent verticalement sur un châssis en fer soigneusement raboté, de 0^m,04 de largeur et de 0^m,05 d'épaisseur. La tige de suspension est en fer rond de 0^m,04 de diamètre ; elle se termine par une crémaillère que fait mouvoir une vis sans fin mue par un montant coudé du garde-corps.

Pour empêcher les suintements qui pourraient se produire au contact des tôles et des fourrures en bois, on a interposé entre elles des feutres imbibés de goudron.

Chaque vantail d'aval de l'écluse de Charenton pèse, non compris les pièces fixes, 8018 kilogrammes.

M. Malézieux calcule les entretoises comme des pièces à demi-encastées, c'est-à-dire qu'il prend pour valeur du moment fléchissant maximum la moyenne arithmétique entre

$$\left(\frac{1}{24}p.l^2\right) \text{ et } \left(\frac{1}{8}p.l^2\right), \text{ soit } \left(\frac{1}{12}p.l^2\right).$$

Ces portes en tôle ont donné d'excellents résultats ; la manœuvre des ventelles a seule été pénible pour les grandes chutes, parce que les éclusiers ne peuvent exercer qu'un faible effort sur la manivelle horizontale.

Le prix moyen des quatre portes de Charenton et de Gravelle s'est élevé à 198 francs le mètre carré.

COMPARAISON ENTRE LES PORTES EN BOIS ET LES PORTES EN TOLE

Les portes en tôle sont plus coûteuses que les portes en bois, du moins pour les dimensions ordinaires. Mais on espère qu'elles dureront beaucoup plus longtemps et exigeront moins d'entretien que les portes en bois, ce qui fait qu'en somme elles seront plus avantageuses. Cependant, l'expérience n'en est pas encore assez longue pour qu'on puisse se prononcer d'une manière absolue : on est généralement d'accord pour reconnaître que les avantages de la tôle augmentent avec les dimensions de l'écluse.

Nous allons, du reste, examiner les diverses opinions émises à ce sujet :

1° D'après M. Malézieux, les portes en bois ont contre elles leur peu de durée, les réparations qu'elles exigent, enfin l'opération si lente du goudronnage qu'il convient de refaire tous les deux ou trois ans. Pour les portes en métal, l'expérience prouve que les travaux et les frais d'entretien sont nuls. L'usage n'en était pas répandu à cause du prix élevé de ces portes, qui coûtaient deux ou trois fois plus que les portes en bois. Nous avons cité plus haut le prix de 425 francs

le mètre carré pour l'écluse de la Monnaie ; ce prix a été de 316 francs pour l'écluse de Châlons-sur-Marne, de 340 francs pour l'écluse de Frouard. Les portes du canal de Saint-Maurice, construites en bois, auraient coûté 150 francs le mètre carré ; en métal, elles ont coûté 200 francs. Suivant M. Malézieux, ce n'est pas acheter trop cher des avantages certains.

2° M. l'ingénieur en chef Lermoyez, dans une note insérée aux *Annales des ponts et chaussées* de 1866, a contesté les conclusions de M. Malézieux en ce qui touche les portes des canaux. Il constate d'abord que des portes, ouvertes et fermées 6588 fois en 1865, sur le canal de Saint-Quentin, et soumises, vu l'activité de la circulation, à des chocs perpétuels inévitables, ont duré plus de trente ans. On arrive à cette durée en n'employant que des bois tout à fait exempts d'aubier, de roulures ou de nœuds vicieux, et ne les faisant mettre en œuvre que par des ouvriers très-exercés. L'entretien des portes en bois est peu de chose et se réduit presque aux réparations qu'exigent les appareils de manœuvre. Le godronnage, effectué tous les deux ans, coûte 15 francs par vantail ; les portes en tôle devront elles-mêmes être repeintes de temps en temps. M. Lermoyez fait remarquer que les portes du canal de Saint-Quentin ne reviennent qu'à 155 francs le mètre carré, et qu'elles reviendraient à plus de 200 francs si on les faisait en tôle, tandis que les portes du canal Saint-Maurice, qui sont revenues à 200 francs le mètre carré, pourraient être établies à 106 francs. Les portes en bois sont donc destinées, conclut M. Lermoyez, à rendre pendant longtemps encore de grands services sur les canaux à petite section.

3° Dans une note publiée en 1868, M. Cambuzat, inspecteur général des ponts et chaussées, a présenté des observations comparatives sur les portes en métal et les portes en bois du canal du Nivernais. En 1866, ce canal comptait :

52	écluses avec portes en bois,	
58	—	en fonte et en tôle,
32	—	en fer, fonte et tôle.

Le 30 juillet 1866, un vantail métallique d'aval de l'écluse de Dirol se brisa subitement, pendant le remplissage du sas, et tomba en morceaux comme par une sorte d'explosion ; cet accident conduisit à projeter le remplacement des portes métalliques par des portes en bois.

Les portes métalliques construites de 1855 à 1859 ont coûté 250 francs le mètre carré de partie pleine ; à la même époque, la reconstruction de trente vieilles portes en bois, dont les anciennes ferrures ont été réemployées, a coûté 94 francs le mètre carré ; en 1867, les portes en bois complètes sont revenues à 110 francs le mètre carré ; quand on remplacera les bois dans 25 ou 30 ans, on se servira des anciennes ferrures.

En résumé, M. Cambuzat estime que :

Pour le canal du Nivernais, le prix de premier établissement des portes en bois est moitié de celui des portes métalliques, d'où une grande économie de mise de fonds ;

Une porte en bois dure 25 à 30 ans et est toujours facile à remplacer à peu de frais ; l'entretien des portes en bois est très-facile et peut être fait par le premier venu, tandis que les réparations des portes métalliques exigent des serruriers habiles ;

Le choc d'un bateau peut casser et a souvent cassé une pièce d'un vantail métallique ; un coup de gaffe peut crever et a crevé fréquemment les bordages

en tôle; une négligence dans la manœuvre peut faire gauchir et forcer un vantail métallique. Le bois ne craint ni les coups de gaffe, ni les chocs, ni les fausses manœuvres.

L'accident du 30 juillet 1866 ne se produira jamais avec une porte en bois ;

Donc, « tout en admettant que, dans certaines circonstances particulières, dans la traversée ou à la porte d'une grande ville, on établisse des portes métalliques à quelques écluses, je pense que, pour une ligne navigable traversant des pays forestiers, il y aura toujours un grand avantage à donner la préférence aux portes en bois. »

PORTES DE GARDE SUR LES CANAUX

Les portes de garde sont en usage sur les canaux partout où il importe de pouvoir, à un moment donné, isoler rapidement l'une de l'autre deux parties adjacentes d'un bief. Nous décrirons les portes de garde à axe horizontal du canal du Centre et les portes de garde à axe vertical du canal de la Marne au Rhin.

Portes de garde à axe horizontal du canal du Centre. — Dans les grands biefs où des accidents peuvent se produire, tels qu'échouage de bateau ou avarie aux ouvrages, on a soin de se ménager les moyens de sectionner le bief par des cloisons étanches afin de pouvoir le mettre à sec sur une partie seulement de sa longueur.

Généralement on a recours à des barrages à poutrelles qu'on établit dans des rainures ménagées dans deux murs distants d'une largeur de bateau; c'est généralement sous les ponts que ces rainures à poutrelles sont installées.

Il arrive souvent que les poutrelles ne sont pas prêtes ou que quelques-unes se trouvent hors de service au moment même où on en a besoin. Cette raison avait conduit M. Comoy à établir, dans certains biefs du canal du Centre, des portes à axe de rotation horizontal, se rabattant au fond du canal, et pouvant suppléer une double paire de portes busquées parce que ces portes étaient disposées pour résister à la pression de l'eau des deux côtés indifféremment.

Les figures 1 et 2 de la planche XLI représentent une de ces portes; devant fermer un passage de 5^m,20 sur 4^m,70, elle a 5^m,54 de longueur, 4^m,95 de hauteur et 0^m,22 d'épaisseur. Levée, elle s'appuie de 0^m,17 contre les angles des deux enclaves latérales et de 0^m,25 contre l'angle de l'enclave horizontale du radier.

Les entretoises et les montants sont des moises comprenant entre elles un bordage de 0^m,05; cette disposition était nécessaire pour que la porte pût également résister dans les deux sens.

La porte est supportée dans son mouvement de rotation par quatre gonds ou crapaudines mâles en fer forgé C, sur lesquels frottent quatre crapaudines femelles en bronze.

Aux deux bouts l'axe horizontal est fixé par des colliers en fer à charnière.

Quand la pression de l'eau agit de manière à écarter la porte des angles des enclaves verticales, il est nécessaire d'arc-bouter cette porte par derrière afin de

l'empêcher de se renverser sur le radier. On y arrive au moyen des valets en fer *V* qui se rabattent dans l'enclave contre les montants de la porte.

Les manœuvres s'effectuent au moyen de bielles *b* en fer forgé.

Il est facile, du reste, en tenant compte du poids perdu par la porte dans l'eau, de calculer quel est l'effort nécessaire aux diverses manœuvres et d'établir les leviers en conséquence.

Les portes de garde de ce système ont rendu des services au bief de partage du canal du Centre; la pose en est un peu délicate; chacune d'elles a coûté, en 1844, 5800 francs, dont 4749 francs pour charpente et serrurerie et le reste pour la maçonnerie.

Portes de garde du canal de la Marne au Rhin. — L'étang de Gondrexange alimente, comme nous le savons, le bief de partage du canal de la Marne au Rhin, bief dont la longueur dépasse 50 kilomètres. La tenue d'eau normale de l'étang est à 4^m,50 au-dessus du plan d'eau normal du canal; si l'une des digues qui séparent l'étang du canal venait à se rompre, une masse d'eau de 6 millions de mètres cubes se précipiterait dans le bief de partage et y formerait un flot, redoutable non-seulement pour le canal lui-même, mais aussi pour les pays voisins. C'est donc avec raison qu'on a songé à limiter la course de ce flot en construisant des portes de garde à chaque extrémité de la section du canal qui traverse l'étang.

Ces portes de garde, établies sous des ponts, c'est-à-dire dans des passages rétrécis, sont représentées par les figures 5, 6 de la planche XXXV.

Elles sont munies de ventelles en tôle et leur construction est analogue à celle des portes d'écluse du canal. On remarquera qu'à la partie supérieure, celle qui est au-dessus des banquettes de halage, les portes se prolongent par une queue; cette queue est pleine comme la porte elle-même, et elle forme portillon au-dessus des banquettes de halage. La section entière sous le pont se trouve ainsi fermée, et ne laisse passer que la quantité d'eau qui s'échappe par les filtrations inévitables, du reste sans importance. L'étanchéité absolue n'est, du reste, pas aussi nécessaire pour cet ouvrage que pour les portes d'écluse; ce qu'on recherche avant tout, c'est la possibilité d'établir un barrage instantané.

On a voulu aussi que ce barrage fût automatique et se fermât de lui-même dès qu'un flot un peu important se présenterait venant du côté de l'étang; le busc des portes est évidemment tourné du côté de l'étang. En temps ordinaire, les vantaux sont logés dans leur chambre; la pose des colliers et des crapaudines est faite avec le plus grand soin, de sorte que le vantail se met en mouvement à la moindre pression exercée sur la queue; pour empêcher cet effet, on a attaché à chaque vantail une chaîne à contre-poids qui le maintient en place tant que l'effort n'atteint pas une certaine limite. Derrière le vantail dans sa chambre débouche un aqueduc tourné vers l'étang; qu'un flot se présente, il s'engage dans l'aqueduc et vient exercer sa pression derrière le vantail, qui se met en marche dès que la résistance du contre-poids est vaincue.

Les portes dépourvues de contre-poids se mettaient en marche par le fait seul du passage d'un bateau et de l'ondulation qui résulte de ce passage; il va sans dire que le mouvement une fois commencé se poursuit de lui-même. Pour s'opposer à ce mouvement produit par le passage d'un bateau, il fallait un contre-poids de 45 à 49 kilogrammes; on en adopta un de 25 kilogrammes, qui deviendrait sans doute insuffisant s'il s'établissait dans le canal une navigation accélérée.

Calcul du temps qu'un sas met à se vider ou à se remplir. — Il est important de calculer le temps qu'un sas mettra à se remplir ou à se vider, pour une chute donnée et pour des ventelles de dimensions déterminées. C'est, en effet, par ce calcul qu'on reconnaîtra si les ventelles ont une section trop grande ou trop forte et qu'on la réglera d'une manière satisfaisante.

A la page 55 de notre *Traité d'hydraulique*, nous avons déjà donné un calcul de ce genre et nous avons cherché le temps qu'un réservoir cylindrique met à se vider. Nous allons refaire des calculs analogues pour un réservoir rectangulaire tel qu'un sas d'écluse.

Nous ferons remarquer tout d'abord qu'il est facile de calculer d'une manière approchée le temps du remplissage ou de la vidange d'un sas de forme quelconque ; on divise le sas en tranches horizontales de 0^m,50 de hauteur, par exemple, et on calcule le volume de chacune de ces tranches ; lors du remplissage, le niveau d'amont est fixe et, lors de la vidange, le niveau d'aval est fixe ; le niveau du sas est variable ; mais pour chaque tranche horizontale, on peut adopter un niveau fixe correspondant à son niveau moyen. On connaît donc la hauteur de chute constante qui règle le passage de l'eau dans l'orifice des ventelles, et on peut calculer par conséquent le débit de ces orifices par seconde. Divisant le volume de la tranche horizontale considérée par ce débit élémentaire on a le temps qu'il faut pour l'écoulement du volume de la tranche ; la somme des temps analogues donnera le temps total de l'écoulement.

C'est évidemment à ce procédé approximatif, mais suffisamment exact dans la pratique, qu'il faudrait recourir si l'on avait un sas de forme compliquée. Mais, pour les sas ordinaires, à bajoyers verticaux ou inclinés, il est facile de procéder par intégration et d'obtenir des formules exactes.

C'est ce que nous allons faire pour un sas rectangulaire à parements verticaux, de section S, correspondant à une chute d'écluse h .

Si s est la section des ventelles, on sait que pour une chute x le débit pendant le temps élémentaire dt est donné par la formule

$$m.s\sqrt{2g.x}.dt$$

dans laquelle m , coefficient de la contraction en mince paroi, est égal à 0,62.

Pendant ce temps, le sas a gagné ou perdu une tranche horizontale liquide dont le volume est

$$S.dx.$$

Nous avons donc deux expressions différentes d'un même débit, ce qui nous fournit l'équation :

$$m.s\sqrt{2g.x}.dt = -S.dx,$$

expression qui peut s'écrire :

$$dt = \frac{S}{m.s\sqrt{2g}} \cdot x^{-\frac{1}{2}}.dx;$$

intégrant entre

$$x=0 \text{ et } x=h,$$

on arrive à

$$t = \frac{S}{m.s} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Exemple : soit un sas de 35 mètres de long, de 5^m,20 de large, de 2^m,60 de chute, il faudra pour le remplir ou le vider avec une ventelle de 0^m,45 de superficie 475 secondes ou 8 minutes ; avec deux ventelles semblables, il ne faudra que 4 minutes.

On établira d'une manière analogue la formule du remplissage et de la vidange d'un sas à talus perreyés inclinés à 45°.

Les lettres *m*, *s*, *h* conservant la même signification que ci-dessus, désignons par *S* la section de la partie du sas limitée à des parements verticaux, par *l* la longueur de la partie perreyée et par *a* sa largeur au plafond qui se trouve à une profondeur *H* au-dessous de la retenue d'amont.

L'équation différentielle dans ce cas sera :

$$m.s.\sqrt{2g.x}.dt = -[S + a.l + 2l(H + h - x)] dx.$$

L'intégration donne :

$$\begin{array}{l} \text{Pour la durée du remplissage,} \\ \text{Et pour la durée de la vidange,} \end{array} \quad \begin{array}{l} \frac{S + l.a + 2l\left(H + \frac{2}{3}h\right)}{m.s} \sqrt{\frac{2.h}{g}} \\ \frac{S + l.a + 2l\left(H + \frac{1}{3}h\right)}{m.s} \sqrt{\frac{2.h}{g}} \end{array}$$

Celle-ci est un peu plus courte que la première.

Dans les écluses où le remplissage et la vidange se font par aqueducs latéraux, on assimilera ces aqueducs à des tuyaux de grand diamètre, et on appliquera les formules que nous avons établies dans notre *Traité de la distribution des eaux*.

Exemple : Soit une écluse à bajoyers verticaux dont *S* est la section horizontale du sas et *h* la chute. Appelons *s* la section de l'aqueduc ou des aqueducs latéraux, et *l* leur longueur.

Appelons *r* le rayon moyen de la section *s*, c'est-à-dire la racine carrée du quotient de la section par le nombre π , *q* le débit variable de ces aqueducs, et *u* la vitesse moyenne d'écoulement. Les deux formules fondamentales de l'écoulement par les tuyaux sont :

$$rj = b_1 u^2 \quad \text{et} \quad q = s.u.$$

Le coefficient b_1 , pour des tuyaux de grand diamètre depuis longtemps en service, est égal à 0,001. La perte de charge *j* par mètre courant est le quotient de la chute variable *x* par la longueur *l* de l'aqueduc.

On peut donc écrire

$$r \frac{x}{l} = b_1 \frac{q^2}{s^2},$$

équation qui donne

$$q = s \sqrt{\frac{r}{b_1 l}} \sqrt{x}.$$

C'est le débit élémentaire correspondant à la chute x ; pendant le temps dt , cela fera un débit $q.dt$. D'autre part, le débit est représenté dans le sas par (Sdx) .

Égalant ces deux valeurs d'un même volume et remarquant que dx est négatif, on a :

$$s. \sqrt{\frac{r}{b_1 l}} \sqrt{x} \cdot dt = S \cdot dx.$$

Intégrant entre les limites de x , zéro et h , on trouve pour la valeur du temps du remplissage ou de la vidange

$$2. \frac{S}{s} \sqrt{\frac{b_1 l h}{r}}.$$

Considérons une écluse de 120 mètres de long et de 12 mètres de large, de 2^m,50 de chute, munie de deux aqueducs latéraux, ayant chacun 0^mq,90 de section; la surface S est de 1440 mètres carrés, s de 2^mq,80, b_1 est égal à 0,001, la longueur l de chaque aqueduc est d'environ 8 mètres, son rayon moyen r est de 0^m,55. Ce serait à peu près la situation d'une écluse de la haute Seine, dont les bajoyers seraient verticaux au lieu d'être perreyés.

La formule précédente donnerait pour la durée du remplissage 304 secondes ou 5 minutes. Avec les talus perreyés inclinés à 45°, la durée observée pour le remplissage est de 10 minutes; le cube d'eau à fournir est en effet à peu près le double.

CHAPITRE III

PROFILS ET OUVRAGES D'ART DES CANAUX

PROFILS

Nous n'avons pas à nous occuper du profil en long des canaux ; nous savons que ce profil est celui d'un escalier, dont la hauteur de marche, c'est-à-dire la chute des écluses, doit être constante et dont la largeur de marche, c'est-à-dire la longueur des biefs, est variable.

La longueur des biefs dépend de la pente même du terrain naturel ; les biefs sont donc, en général, d'autant plus courts qu'on s'approche davantage du bief de partage ; à mesure qu'on descend vers la vallée principale, les biefs s'allongent.

Girard, le créateur du canal de l'Oureq, avait assimilé ce canal à une rivière naturelle ; il avait donc cherché, sur le profil en long, à se rapprocher de la courbe qu'affectent les rivières. C'est là une considération inutile ; du moment que la chute des écluses est déterminée, le profil en long doit être fixé par la considération de la dépense minima et par la condition que le canal soit toujours à l'abri des inondations qui peuvent se produire dans les vallées suivies par lui. Nous reviendrons tout à l'heure sur ce point.

Le profil en travers dépend de la largeur des bateaux qui doivent fréquenter le canal, et du tirant d'eau qu'on veut leur assurer. Il faut que deux bateaux puissent se croiser facilement dans la section normale.

Exceptionnellement, lorsqu'un canal est fait pour un service unique et déterminé, on se donne la section normale et on crée en conséquence le matériel de transport.

Nous nous contenterons donc de donner, comme exemples, les profils en travers de plusieurs canaux d'importance différente.

Profils en travers du canal de la Marne au Rhin. — La figure 5 de la planche XXVIII représente le profil en travers du canal de la Marne au Rhin ; c'est à peu près le profil normal de nos principaux canaux.

« Dans son profil en travers normal, dit M. Graëff, ce canal a 10 mètres de largeur au plafond, 1^m,60 de tenue d'eau ou de mouillage ; une banquettes de 0^m,50 de large règne à fleur d'eau de chaque côté, et les crêtes des chemins de

halage sont à 0^m,70 au-dessus de la ligne d'eau, ce qui donne 2^m,50 de hauteur totale entre ces crêtes et le plafond.

« Comme les talus intérieurs sont d'ailleurs à 2 de hauteur pour 3 de base, cela donne à la ligne d'eau une largeur de 14^m,80, et entre les crêtes intérieures des chemins de halage une largeur de 17^m,90.

« Le chemin de halage principal a, en général, 4^m,50 de largeur, et le chemin de halage secondaire ou marchepied 5 mètres, ce qui donne au canal, entre les crêtes des talus extérieurs, une largeur totale de 25^m,40, tandis que pour le chemin de fer cette même largeur n'est que de 9 mètres sur la ligne des terrassements, c'est-à-dire au niveau du fond du ballast. »

Dans les canaux à flanc de coteau, le chemin de halage principal destiné aux chevaux est en général placé du côté de la vallée. C'est la disposition la plus commode pour la navigation, et la plus favorable pour les terrassements. En effet, le marchepied se trouve alors presque toujours en déblai, et on peut disposer son tracé de manière à trouver de son côté le déblai nécessaire pour faire le remblai du côté du chemin de halage.

Dans les traversées des villes, où il faut nécessairement ménager l'espace et créer des facilités pour le chargement et le déchargement des bateaux, on réduit le profil au strict nécessaire, et on enferme le canal entre deux murs de quai. La figure 4 de la planche XXVIII représente le profil en travers du quai de Saverne, sur le canal de la Marne au Rhin. La largeur totale est réduite à 11 mètres.

Profil en travers du canal de la Sauldre (Sologne). — A côté du profil ordinaire de nos canaux, nous avons placé un profil de canal à voie étroite. C'est le canal de la Sauldre, destiné à desservir la Sologne, et analogue au canal du Berry.

Ce profil est représenté par la figure 6 de la planche XXVIII.

La largeur au plafond est de 5 mètres, le mouillage normal est de 1^m,50; les talus sont inclinés à 2 de hauteur pour 3 de base, et, comme la crête intérieure des digues est à 1 mètre au-dessus de la ligne d'eau, cela fait pour le canal une largeur en gueule de 12^m,50.

Les deux chemins de halage ont 4 mètres de large.

Ce canal est destiné à des bateaux de 2^m,50 de large, car la largeur des bateaux qui fréquentent un canal est à peu près la moitié de la largeur normale au plafond.

On remarquera que le canal de la Sauldre ne comporte pas de banquettes latérales au niveau de la ligne d'eau; ces banquettes, que nous venons de voir au canal latéral de la Marne au Rhin, et qui ont en général 0^m,50 de large, sont destinées à prévenir la dégradation des talus, qui se produit au voisinage de la surface liquide par le clapotage des eaux. Ces banquettes, ou bermes, sont plantées de glaïeuls qui brisent les petites vagues. Lorsqu'on les supprime, on peut garnir les talus, au voisinage de la ligne d'eau, avec des pierres, des planches ou des fascines.

Observations sur les terrassements. — Il faut se méfier beaucoup, dans la rédaction des projets, des anciens coefficients de foisonnement, qui n'ont pas été établis par des expériences sur grande échelle. Au chemin de fer de Paris à Strasbourg, versant du Rhin, les déblais formés de morceaux de roc mélangés de terre, n'ont pas donné de foisonnement après l'achèvement des remblais, et les cubes se sont compensés. Au canal, où de la terre légère et fine était employée de déblai en remblai, il y a eu foisonnement négatif; un cube de déblai

a donné un cube de remblai moindre, et la différence s'est élevée à $\frac{1}{8}$ ou $\frac{1}{10}$. Donc, en général, il est imprudent de tenir compte d'un foisonnement éventuel, et même, avec des terres légères, il est prudent de compter sur une condensation de $\frac{1}{10}$.

Les terrassements des canaux doivent être effectués à la brouette et au tomberau, afin d'obtenir une sorte de corroyage des terres. Les remblais ne doivent être assis que sur un sol essarté, creusé à vif, et même on fera bien d'établir au milieu du remblai un fossé longitudinal de 1 mètre à 1^m,50 de large.

Les terrassements des digues doivent être particulièrement soignés; il faut les composer de couches pilonnées de 0^m,15 à 0^m,20 d'épaisseur, bien purgées de grosses pierres. Les terrassements d'hiver, qui enfouissent dans les remblais des mottes de terre gelée, doivent être sévèrement proscrits.

Nous avons décrit, dans le *Traité de l'exécution des travaux*, tout ce qui est relatif à la confection des terrassements, déblais et remblais, ainsi qu'à l'exécution des gazonnements, semis, perrés et enrochements.

Les terrassements d'un canal exigent beaucoup plus de soins encore que ceux d'un chemin de fer ou d'une route; tout défaut dans les terrassements se traduit par des pertes considérables lors de la mise en eau, et entraîne alors des remaniements et des dépenses considérables.

Lorsqu'on a un canal en remblai, la première idée qui se présente à l'esprit est de n'exécuter que les digues latérales et de ne pas remblayer à l'emplacement du fond. — Une telle disposition serait des plus malencontreuses, car il en résulterait, entre la base des digues et le sol naturel, des filtrations énormes.

Il faut donc, même en remblai, donner à la cuvette du canal son profil normal, et exécuter les terrassements du plafond avec un soin tout particulier.

« On sait, en effet, dit M. l'ingénieur Gérardin, qu'il est à peu près impossible d'éviter les tassements dans un remblai, surtout quand on le met en contact avec l'eau, et les déformations sont d'autant plus grandes que le talus a plus de hauteur : il faut donc éviter inutilement de le descendre au-dessous du niveau normal du plafond.

« En second lieu, l'eau, qui tend à se frayer un passage à travers les terres, a d'autant plus de puissance que sa pression est plus grande; il est donc important de réduire la profondeur, d'où résulte la pression, à son minimum obligatoire. »

M. Gérardin a appliqué ces principes à l'exécution de la rigole dérivée de la Marne, qui amène à l'usine de Condé les eaux motrices; les profils en déblai et en remblai de cette rigole sont représentés par la figure 7 de la planche XXVIII.

Les digues en remblai ont été formées d'un noyau étanche en terre végétale pilonnée, recouvert d'une couche suffisamment épaisse de craie en menus morceaux. Ces digues ont présenté une grande solidité.

Quand on rencontre sous les remblais une dénivellation brusque, par exemple au passage d'une excavation ou d'un fossé, il faut pilonner les remblais avec un soin excessif; car il se produit toujours, à la ligne de séparation, des inégalités de tassement; cela crevasse les digues et donne lieu à des fuites.

Nous avons eu déjà l'occasion de dire que sous un remblai il faut piocher le sol sur une certaine profondeur et le débarrasser de toutes les herbes, racines, broussailles qui rendraient la liaison imparfaite et livreraient aux filtrations un chemin facile.

La rigole alimentaire de l'usine de Condé est parcourue par un courant dont la vitesse moyenne peut atteindre 0^m,55 par seconde; cette vitesse aurait été

dangereuse pour les talus, surtout dans les courbes; aussi a-t-on eu soin de perreyer le talus de la rive concave, ainsi que le montre un des profils de la figure 7.

Observations sur les canaux des États-Unis. — Dans son *Rapport de mission* aux États-Unis, M. l'ingénieur en chef Malézieux a consigné de très-intéressantes observations sur les canaux. Nous signalerons sommairement les plus importantes.

Les écluses en maçonnerie sont construites sur une plate-forme générale en charpente, formée de traverses de 0^m,25 à 0^m,50 d'équarrissage, laissant entre elles des vides de 0^m,10 à 0^m,50, et recouvertes d'un plancher en madriers de 0^m,05. Il n'y a pas d'autre radier que ce plancher, sur lequel repose la maçonnerie des bajoyers.

Les bajoyers ont un fruit de $\frac{1}{10}$ sur leur parement qui limite le sas. Les buscs sont en bois de chêne; ce sont de véritables fermes horizontales, composées d'un entrait, de deux arbalétriers et d'un ou de plusieurs poinçons.

Les sas se remplissent et se vident beaucoup plus vite qu'en France; le passage des eaux se fait surtout par des aqueducs à ventelles tournantes débouchant dans le radier même de l'écluse.

Depuis longtemps on a commencé à substituer aux portes busquées d'amont des portes à un seul vantail, tournant autour de sa base horizontale, et se rabattant vers l'amont. Cette substitution, dit M. Malézieux, réputée excellente par toutes les personnes que nous avons consultées, paraît appelée à se généraliser.

Le vantail se manœuvre au moyen d'une chaîne s'enroulant sur un treuil fixe, que porte un bajoyer.

La figure 4 de la planche XLIII fait comprendre la disposition générale d'une écluse américaine avec sa porte à rabattement.

Cette porte a moins de développement que deux portes busquées; la longueur de l'enclave est donc moindre; elle est de construction plus simple et de manœuvre plus facile.

Elle est constamment appliquée à des écluses ayant à peu près les dimensions des nôtres. M. Malézieux signale encore les ventelles tournantes à axe de rotation horizontal placé vers le milieu de leur hauteur. L'usage en est général, et cela semble indiquer que les ventelles tournantes ne présentent pas trop d'inconvénients au point de vue de l'étanchéité, tout en donnant plus de rapidité dans la manœuvre.

Canaux souterrains des houillères. — Dans certaines houillères anglaises, notamment dans celles de Worsley, près Manchester, on a tiré un excellent parti des eaux souterraines pour le transport par eau des charbons pris dans la galerie même d'extraction.

En 1736, le duc de Bridgewater terminait le canal qui porte son nom et qui réunit les houillères de Worsley à Manchester et à l'embouchure de la Mersey; il résolut alors de faire pénétrer le canal dans la mine même, et d'éviter ainsi tous les frais de transport en même temps qu'il donnerait à la mine entière un drainage naturel. Il établit trois étages de canaux, le premier vers 50 mètres de profondeur, le second à 84^m,50, et le troisième à 140 mètres; c'est l'étage moyen qui seul communique directement avec le grand canal à ciel ouvert, c'est lui qui reçoit les produits des canaux inférieurs et qui apporte dans la mine tous les matériaux nécessaires.

Le canal de l'étage moyen avait, en 1842, 5650 mètres de développement; sa largeur normale était de 2^m,74 et sa profondeur de 1^m,10; la hauteur libre

au-dessus de l'eau était de 1^m,54. La branche principale se ramifie en autant de branches qu'il est nécessaire pour desservir les galeries, et tous ces rameaux constituaient, en 1842, un développement de 22 kilomètres.

Les branches du niveau supérieur avaient elles-mêmes 16 kilomètres de développement. Au commencement du siècle, les charbons de ce niveau étaient amenés par bateau près d'un puits de mine; on les chargeait à la main dans des tonnes qui étaient descendues, au moyen d'un treuil à frein, dans les bateaux du canal moyen. C'était une manœuvre longue et coûteuse, que le duc de Bridgewater résolut de supprimer en transportant sur le canal moyen les bateaux tout chargés du canal supérieur. A cet effet, il donna au treuil à frein, qui servait à descendre les tonnes verticalement, des proportions telles, que les bateaux eux-mêmes pussent descendre sur un plan incliné. Cela se passait, dit M. Fournel, à l'époque où l'on avait acquis la certitude que les Chinois se servaient de plans inclinés au lieu d'écluses, et où la question des avantages et désavantages attachés à cette substitution préoccupait beaucoup d'esprits en Angleterre.

Au sommet du plan incliné, figure 6, planche XLIII, deux écluses accolées de 16 mètres de longueur et de 2^m,50 de large, dont le radier formait le prolongement du plan incliné, recevaient successivement un bateau chargé. Le bateau étant entré dans l'écluse pleine d'eau, on la vidait par une vanne et un puisard communiquant avec le canal moyen, le bateau descendait dans le sas, et venait reposer sur un chariot de 10 mètres de long, garni de roulettes en fonte et posé sur un chemin de fer se poursuivant sur toute la longueur du plan incliné. On ouvrait la porte de l'écluse, et au moyen d'un grand treuil à engrenages à frein puissant, placé au-dessus des écluses, on faisait descendre un bateau plein en même temps qu'on montait un bateau vide. Aussitôt le mouvement commencé, le plan devenait automoteur, et il n'y avait plus qu'à modérer la descente à l'aide du frein. Un bateau vide pesant 4 tonnes, portait 12 tonnes de houille, et on descendait quatre bateaux à l'heure.

Appareil élévatoire pour les bateaux. — La chronique des annales des ponts et chaussées de mars 1876 mentionne en ces termes un autre appareil élévatoire pour les bateaux :

Le canal de Trent et Mersey, à Anderton, se trouve à une petite distance de la rivière Weaver, mais à une hauteur de 15 mètres au-dessus environ. Il existe un mouvement considérable de marchandises des districts produisant le fer et les poteries vers Liverpool, et ces marchandises, transportées par eau, devaient subir à Anderton un transbordement que l'appareil ci-après décrit permettra d'éviter à l'avenir en abaissant jusqu'au niveau de la Weaver les bateaux qui circulent sur le canal, et en élevant jusqu'au canal les bateaux arrivant par la rivière. Pour arriver à ce résultat, on a établi, en communication avec le canal, deux grands caissons en fonte, placés à côté l'un de l'autre, ayant même section que le canal et dont la longueur est égale à celle des plus grands bateaux circulant sur ces voies navigables; ces caissons, qui peuvent être fermés à leurs extrémités, reçoivent, au moyen de puissantes machines hydrauliques placées à côté, un mouvement d'ascension et de descente, de telle sorte que l'un descend pendant que l'autre monte. Ces caissons, qui fonctionnent ainsi comme des écluses mobiles, lorsqu'ils ont atteint leur position inférieure, peuvent être mis en communication avec la rivière. On conçoit dès lors facilement qu'on arrive à faire passer les bateaux de celle-ci dans le canal, ou inversement.

La difficulté d'obtenir des joints étanches, tant pour la fermeture des cais-

sons et du canal que pour le raccordement de celui-ci avec chaque caisson alternativement, paraît avoir été résolue d'une manière satisfaisante.

PROCÉDÉS D'ÉTANCHEMENT DES CANAUX

La connaissance géologique du pays que doit traverser un canal doit exercer une grande influence dans la rédaction des projets. Pour n'en avoir pas tenu compte, on a quelquefois commis de grosses erreurs, en projetant des canaux dans des terrains éminemment perméables, dans lesquels l'eau passe comme dans un crible. De pareils terrains exigent nécessairement une cuvette maçonnée et entraînent des dépenses considérables.

Mais, on est bien forcé parfois d'établir certaines sections d'un canal sur des terrains plus ou moins perméables ; il faut alors aviser aux moyens d'obtenir, avec le moins de frais possible, une cuvette étanche. A cet effet, divers procédés sont mis en usage, que nous allons décrire.

Étanchement à l'eau trouble en Bavière. — M. Michel Chevalier a fait connaître, vers 1840, les moyens employés en Bavière pour étancher des biefs creusés dans un sable qui paraissait d'abord excessivement perméable.

Les grains de sable sont imperméables par eux-mêmes ; c'est dans leurs interstices que l'eau circule. Si cette eau est argileuse et trouble, elle devient limpide par son passage dans une couche de sable même assez mince. En effet, elle abandonne toutes les particules vaseuses dont elle est chargée, et comble peu à peu les interstices.

Cela nous explique pourquoi les filtres à sable, employés dans les distributions d'eau, donnent d'abord de bons résultats, puis finissent par devenir inactifs ; il faut alors reprendre le sable et le laver à grande eau pour le régénérer.

Ces effets d'obstruction et d'engorgement rendent assez rapidement étanches les biefs ouverts même dans un terrain sablonneux indéfini.

Ce que la nature met un certain temps à faire, l'homme peut arriver à l'obtenir beaucoup plus vite en aidant la nature.

C'est ce qu'on a fait en Bavière : avant d'introduire l'eau dans les biefs à fond de sable, on la remuait continuellement avec des pièces de bois agitées à bras d'hommes ; cette agitation soulevait la vase et l'argile et rendait l'eau trouble. Cette eau trouble, absorbée ensuite par le sable, lui abandonnait sa vase, et arrivait bientôt à boucher tous les vides, de sorte qu'une cuvette, dans laquelle l'eau passait d'abord comme dans un crible, devint en quelque temps étanche. Cette cuvette étant établie à flanc de coteau, des sources prirent naissance au pied du coteau, et ne disparurent que lorsque l'étanchéité du bief fut obtenue.

Étanchements du canal du Rhône au Rhin. — Des étanchements considérables ont été exécutés au canal du Rhône au Rhin sur les 120 kilomètres compris entre Huningue, Neuf-Brisach et Strasbourg et situés dans la basse plaine de l'Alsace, formée de couches de sable et de graviers roulés, c'est-à-dire d'un sol excessivement perméable.

On avait espéré d'abord obtenir une étanchéité suffisante en introduisant, lors des crues, les eaux troubles de l'Ill et du Rhin ; mais cela ne réussit pas,

et c'est à peine si la masse d'eau trouble pouvait parcourir 5 à 6 kilomètres dans la partie perméable du canal.

L'opération eût été ainsi très-longue, bien qu'on augmentât la vase du courant en y projetant une grande quantité de terre.

Il fallut y renoncer et recourir à des corrois continus.

Les corrois ont été de tous temps en usage pour l'étanchement des canaux : on les exécute avec de la bonne terre franche, de l'argile sablonneuse ; l'argile pure et compacte est moins bonne. On enlève sur le fond et sur les côtés du canal une tranche d'au moins 0^m,60 d'épaisseur que l'on remplace par la terre franche ; elle est posée par couches de 0^m,10 d'épaisseur, soigneusement pilonnées ; si la terre est sèche, il faut avoir soin d'arroser chaque couche.

Ces corrois n'ont presque jamais réussi, parce que les canaux sujets au chômage doivent être mis à sec périodiquement ; alors, le corroi se dessèche, se fend de toutes parts et perd son efficacité.

Ces anciens corrois exécutés au canal du Centre ne duraient pas plus de cinq ans ; ceux du canal de Saint-Quentin, figure 1, planche XLIV, dont l'épaisseur sur les côtés atteignait 2 mètres, ne résistaient pas mieux.

Au canal du Rhône au Rhin, dans le but de rendre plus limoneuses les eaux prises dans l'Ill et le Rhin, et introduites dans le canal, on disposa dans le canal tous les 15 à 20 mètres de petits barrages transversaux en terre ; le courant rapide régnant dans le canal attaquait ces barrages et les détruisait peu à peu ; on espérait obtenir ainsi un matelas étanche ; il n'en fut rien : la terre entraînée se déposait un peu plus loin sous forme de deltas ; en effet, la vitesse du courant diminuait notablement à quelques mètres du barrage. Néanmoins ce travail amena quelque amélioration dans la tenue des eaux.

On essaya ensuite de jeter dans le courant des terres argileuses approvisionnées sur la rive ; cela ne réussit pas mieux et les pelletées de terre se déposaient à peu près au point où le jet avait lieu.

Ces procédés sont donc insuffisants pour un sol d'une perméabilité excessive.

On eut recours alors à des revêtements en placage de terre franche, de 0^m,10 d'épaisseur au plafond et de 0^m,25 sur les côtés ; ces revêtements étaient appliqués sans liaison sur les parois préalablement arrosées et piochées. Ils donnèrent d'abord un bon résultat, mais lorsqu'on retira les eaux, on reconnut des défoncements dans le lit et les revêtements des talus glissèrent et disparurent après avoir été délayés.

On procéda à un second essai : le fond du canal fut recouvert d'un corroi en terre de 0^m,50 de hauteur, les talus furent abattus et remontés en terres corroyées ; pour obtenir de la liaison, on ménageait dans le massif de la digue des crèneaux verticaux ou amorces de 0^m,25 de profondeur et de 0^m,50 de largeur, espacés de 0^m,80. On approvisionnait de la terre argileuse bien nettoyée et bien purgée, et d'autre part des graviers résultant du passage à la claie de la recoupe des talus. Le fond était obtenu au moyen de six couches de 0^m,08 d'épaisseur réduite à 0^m,05 par le damage ; chaque couche était formée de terre, puis après le damage on la recouvrait de graviers de 0^m,04 à 0^m,05 que l'on enfonceait avec les dames. Les talus étaient confectionnés de même. La proportion était de $\frac{1}{5}$ de gravier pour $\frac{4}{5}$ de terre.

On reconnut bientôt que les crèneaux verticaux donnaient lieu à des éboulements et liaisonnaient mal, que le pilonnage était insuffisant et que la proportion de gravier n'était pas suffisante.

On remédia à ces inconvénients en remplaçant les créneaux verticaux par des gradins horizontaux, figure 2, planche XLIV, en substituant aux dames rondes la hie du paveur, et en portant à $\frac{1}{4}$ la proportion du gravier. C'est à ce dernier procédé qu'on s'est arrêté.

On avait soin de faire rouler les tombereaux sur les parties déjà corroyées pour augmenter la compression.

Lorsque les terres n'étaient pas suffisamment argileuses, on avait soin de les arroser avec du lait de chaux grasse, dans la proportion de 15 litres de chaux pour un mètre cube de terre.

Avec le surplus des terres des fouilles, on établit au pied des talus de la cuvette des banquettes de 1^m,50 à 2 mètres de largeur, qui produisirent bon effet et s'opposèrent à l'éboulement des corrois.

C'est par ce procédé qu'après cinq années de travail et d'essais on arriva à obtenir l'étanchéité des 120 kilomètres du canal du Rhône au Rhin.

Ce succès s'explique si on remarque que le mélange de terre franche et de graviers bien comprimés forme un béton terreux qu'un faible courant délave difficilement.

L'addition du lait de chaux a l'avantage de faire périr les vers et les insectes que la terre renferme, et d'éloigner les taupes si dangereuses pour les digues des canaux.

Lorsqu'un défoncement se faisait dans un corroi, on complétait l'étanchement avec du sable fin, jeté par masses à la pelle dans le défoncement. Les particules de sable, entraînées par les eaux qui s'engouffrent dans l'entonnoir, ne tardent pas à former un tampon imperméable.

Les jets de sable fin ont autrefois donné également de bons résultats au canal de Bourgogne; les grains entraînés par les eaux bouchent les interstices du sol. Ce moyen a réussi aussi au canal Calédonien. Mais il est évident qu'il ne convient qu'à des terrains d'une perméabilité modérée; aussi n'a-t-il pas réussi tout d'abord au canal du Rhône au Rhin et n'a-t-il pu être employé que comme accessoire des corrois.

Encore faut-il reconnaître que ces corrois eux-mêmes sont loin de la perfection et qu'ils n'ont réussi que parce que la branche de canal qui nous occupe possède une source d'alimentation inépuisable. Du reste, dans les parties particulièrement mauvaises du canal du Rhône au Rhin qui se trouvaient beaucoup au-dessus du niveau de la nappe d'eau souterraine, il a fallu recourir à des bétonnages.

Étanchements du canal de la Marne au Rhin. — Les travaux d'étanchement exécutés dans les diverses sections du canal de la Marne au Rhin sont très-intéressants; ils ont été décrits par MM. Graëff et Malézieux; c'est à ces deux ingénieurs que nous emprunterons les renseignements qui vont suivre.

1° *Étanchements en béton.* — Les figures 3 à 5 de la planche XLIV, représentent, d'après M. Malézieux, le procédé d'étanchement du béton.

Le revêtement de la cuvette comprend :

« Une couche de béton, ayant 0^m,15 d'épaisseur au plafond du canal, et se terminant, avec une épaisseur de 0^m,10, à 0^m,20 au-dessus du plat d'eau; par-dessus le béton, une chape générale en mortier de 0^m,02 d'épaisseur, recouverte toujours d'un remblai de terre de 0^m,50 au minimum. »

Le béton était formé avec de bonne chaux hydraulique, un peu de ciment, du sable siliceux qui n'est pas gélif, et des pierres cassées passant dans un anneau de 0^m,05 à 0^m,05.

Voici la composition des mortiers et du béton :

MORTIER POUR BÉTON.		MORTIER POUR CHAPE.		BÉTON.	
m. c.		m. c.		m. c.	
Chaux en pâte.	0,45	Chaux en pâte.	0,45	Mortier.	0,60
Ciment.	0,15	Ciment.	0,45	Pierres cassées	0,90
Sable.	0,75	Sable.	0,45		
	} 0,90		} 0,90		

La fouille étant bien nettoyée et arrosée, le béton est amené dans des brouettes; pour le plafond, il est versé au lieu même d'emploi; pour les talus, il est versé à leur pied sur un plancher d'où on le jette à la pelle de manière à le poser par tranches horizontales de 0^m,20 d'épaisseur.

La régularité dans l'épaisseur du béton est chose indispensable; aussi faut-il se livrer à cet égard à une surveillance assidue; jamais l'épaisseur, même après pilonnage, ne doit tomber au-dessous de 0^m,10.

Il ne faut pas craindre de mettre une surépaisseur de béton à l'angle de jonction du plafond et des talus.

Le béton du plafond est pilonné avec des dames rondes très-lourdes, manœuvrées avec beaucoup de vigueur; le mortier doit refluer à la surface de manière à former une nappe de 0^m,02 à 0^m,03. Sur les talus, le pilonnage se fait sur les couches horizontales successives avec les dames et sur la surface du talus avec des dames plates.

Aussitôt après la pose, le béton est battu avec une savate (fig. 7), pesant 4 kilogrammes, formée de deux cuirs garnis de gros clous de souliers. Quelques heures après, quand la prise a commencé, on recommence le battage avec une savate de 10 kilogrammes, formée de quatre cuirs et présentant de grosses têtes de clous. Le savatage agit beaucoup plus énergiquement que le pilonnage pour donner de la compacité au béton et pour faire disparaître tous les vides.

Deux savatages suffisent quand on doit recouvrir le béton d'une chape en mortier; en l'absence de chape, il faudrait savater quatre à cinq fois, avec les deux savates alternativement, dans un intervalle de 60 heures.

Le béton ayant été bien nettoyé, balayé et arrosé, on le recouvre de la chape, 24 heures au moins après le dernier savatage; le mortier est posé à la truelle, en le fouettant contre le béton, on le régale et on le lisse ensuite à la pelle. L'épaisseur de la chape, après compression, ne doit pas tomber au-dessous de 0^m,015 à 0^m,02.

Environ 24 heures après la pose, la chape est pilonnée avec une dame légère pour faire disparaître les fendillements dus au retrait; pour fermer une fente, il faut d'abord pilonner les parties latérales, afin de rapprocher les lèvres.

Après le damage, on fait subir à la chape deux ou trois savatages avec la savate légère.

Plus tard, au moment de remblayer, on ferme à la truelle les quelques fentes qui ont pu se produire.

Le travail du bétonnage doit être poursuivi d'une manière continue; lorsqu'on est forcé de faire une reprise, il faut ménager des amorces en talus, que l'on nettoiera, que l'on dégradera et que l'on arrosera pour assurer la suture de la partie ancienne et de la partie nouvelle.

Les raccordements de la chape et ceux du béton ne doivent pas se corres-

pondre. Par un soleil ardent ou par une pluie battante, il faut suspendre le travail et recouvrir avec de la paille les parties fraîches.

Le remblai est commencé dès que la chape est achevée; il ne faut pas laisser dans la terre de pierres d'une grosseur supérieure à 0^m,10, de peur qu'elles ne viennent à trouser le revêtement sous l'influence d'un choc, tel que celui qui résulterait de l'échouage d'un bateau.

Le mètre courant de revêtement du canal est revenu à 56 francs environ. Dans les parties très-perméables et exposées à des sous-pressions, on a ménagé de place en place sous le béton de petits aqueducs longitudinaux réunis par des aqueducs transversaux, lesquels débouchaient dans le canal même par des barbacanes à clapet.

D'après M. Graëff, l'épaisseur du revêtement en terre peut être réduite de 0^m,50 à 0^m,20; cela suffit, et on a l'avantage d'avoir une profondeur de 0^m,10 en sus du mouillage normal. On devrait toujours avoir cet excès de profondeur dans les canaux, afin d'éviter les curages fréquents dont la nécessité se fait toujours sentir en certains points.

Lorsqu'on substitue le menu gravier à la pierre cassée, l'épaisseur de 0^m,10 peut être substituée à celle de 0^m,15, à condition toutefois que la pose se fasse sur des terres ayant bien opéré leur tassement.

Dans ce cas, M. Graëff pense même qu'on obtiendrait d'excellents résultats en arrosant avec un lait de chaux la fouille bien nettoyée de pierres, et en établissant une couche bien savatée de mortier fabriqué avec du gros sable, couche qui serait recouverte d'une chape de 0^m,02. Avec ce procédé, on réduirait la dépense de moitié.

Dans les parties où les sous-pressions étaient à craindre, M. Graëff a établi les aqueducs avec barbacane à clapet, représentés par la figure 6 de la planche XLIV.

Dans les parties de bétonnage où il y avait à réparer des brisures, on élargissait les fentes sur 0^m,04 à 0^m,05 de profondeur, de manière à leur donner 0^m,02 à 0^m,03 de largeur, et on remplissait le joint ainsi formé avec du ciment de Vassy.

Les bétonnages absorbent 2^{mc},80 à 2 mètres cubes de béton par mètre courant, suivant qu'on adopte une profondeur de 0^m,15 ou de 0^m,10 au plafond, plus 0^{mc},40 de mortier pour les chapes.

2° *Étanchements en terre.* — Les étanchements en terre exécutés par M. Graëff ont pris trois formes différentes :

1° Quand les pertes avaient lieu par toute la surface, on la remaniait sur une profondeur de 0^m,50 et on la remplaçait par tranches pilonnées de 0^m,10, se réduisant à 0^m,06 ou 0^m,07, arrosées avec du lait de chaux.

2° Quand les pertes se faisaient par le plafond, c'était surtout à l'angle de la section, du côté où le canal est en remblai; on arrêtait les filtrations à l'aide d'un fossé A rempli de terre corroyée. Les fuites qui se produisent entre la digue et le sol sur lequel elle repose sont très-difficiles à aveugler; aussi le sol naturel doit-il être dégazonné et refouillé avant d'établir la digue qui le surmonte (fig. 9).

3° Quand les pertes se faisaient par les talus, on avait recours à des fossés remplis de terre corroyée, tels que D, qui pouvaient même être poussés jusqu'au plafond du canal si on avait soin de se servir d'outils de drainage.

Pour les corrois, l'argile pure est très-mauvaise, à moins qu'elle ne doive toujours être sous l'eau; la meilleure terre est la terre sablonneuse, qui, arro-

sée avec le lait de chaux, forme un mortier maigre. Les terres argileuses doivent être ramenées à la composition de 1 1/2 de sable pour 1 d'argile.

On a employé 5 à 10 litres de chaux par mètre cube de terre.

3° *Étanchements à l'eau trouble.* — Dans les étanchements à l'eau trouble, il faut d'abord préparer le fond ou les talus au moyen d'une herse à dents recourbées, que traîne un cheval et que deux hommes dirigent; cette herse est plus ou moins chargée, suivant la nature du terrain. Figure 10, planche XLIV.

Le sable fin, amené par bateau, est ensuite jeté aux endroits voulus. Puis, pour le faire pénétrer et pour fermer les sillons, on traîne sur le fond une herse non garnie de dents, mais garnie seulement de bandes de fer posées sur ses traverses.

Sur les talus non gazonnés, on a quelquefois remplacé les dents de la première herse par des fagots d'épines.

L'opération doit être parfois poursuivie plusieurs mois; l'eau qui s'écoule des regards est d'abord trouble et chargée de sable; puis elle devient claire, ce qui indique qu'elle dépose son sable dans les massifs de terre.

M. Graëff a employé, suivant les biefs, 0^m^c 20 à 1 mètre cube de sable courant et la main-d'œuvre est revenue entre 0 fr. 50 cent. et 1 fr. 10.

Le choix du sable est très-important. « Les sables quartzeux paraissent convenir le mieux lorsqu'il y a d'assez grands vides à boucher, et les sables fins légèrement argileux lorsqu'il ne s'agit que de troubler l'eau. Quand le sable est difficile à trouver, et, par conséquent, d'un prix très-élevé, on devra rechercher les terres qui, par leur nature, s'éloignent le moins des conditions du sable fin argileux. »

Il est à remarquer, du reste, qu'il est souvent plus facile d'étancher de faibles pertes réparties sur toute la surface qu'une grosse perte locale. C'est ce qui permet de comprendre cette affirmation de M. Graëff: « Les terrains argileux sont les plus difficiles à étancher, tandis que les terrains sablonneux et même les graviers un peu argileux s'étanchent à peu de frais et souvent d'eux-mêmes. »

Les travaux d'étanchement du canal de la Marne au Rhin ont donné d'excellents résultats, ainsi que le constatent les chiffres de consommation diurne que nous avons cités en parlant de l'alimentation de ce canal.

Étanchements du canal de l'Aisne à la Marne. — La rigole, qui amène à l'usine de Condé les eaux de la Marne destinées à faire mouvoir les turbines de cette usine, a été l'objet de travaux d'étanchements exécutés d'après les principes précédents.

Les bétonnages, de 0^m 10 d'épaisseur seulement, ont été recouverts d'un remblai de 10 centimètres d'épaisseur pour le plafond et de 50 centimètres pour les talus. Cette grande épaisseur avait pour but de protéger contre la gelée la craie sur laquelle reposait le béton.

Une partie des étanchements a été exécutée par remblais corroyés de la manière suivante: « Nous avons pris la tranchée, dit M. l'ingénieur Gérardin, sur un peu plus de la moitié de sa largeur; nous l'avons approfondie de 60 centimètres, en rejetant les déblais sur la partie non entamée, puis, reprenant ces déblais en brisant les plus gros morceaux, nous en avons fait répandre sur le fond de la fouille une couche de 5 à 10 centimètres d'épaisseur, sur laquelle on a fait passer à plusieurs reprises un cylindre de route fortement chargé, sous l'action duquel la craie, arrosée au besoin, a formé une croûte compacte; on a alors répandu une nouvelle couche qu'on a cylindrée de même, et ainsi de suite

jusqu'à ce qu'on eût replacé tout le déblai dans la fouille où il n'a plus occupé qu'une hauteur de 0^m,55.

« Ce côté terminé, on a procédé de même sur l'autre moitié, en ayant soin d'opérer la soudure avec la première partie, ce qui était facile en prenant la précaution de la tailler en gradins.

« Ce mode d'étanchement a donné d'excellents résultats, et le succès n'en paraît pas douteux pour l'avenir, parce que, dans cette portion, le plafond du canal ne sera presque jamais laissé à sec. »

L'étanchement au sable et à la herse a bien réussi dans toutes les parties où les talus étaient formés de gravier ou de craie divisée en très-petits fragments. On a employé 0^m^c,23 à 0^m^c,63 de sable par mètre courant.

Pour ce qui est des trous de taupe, on les bouchait immédiatement avec des tampons en bois, et on faisait disparaître la cavité par un petit remaniement du sol.

TRAVAUX D'ART ACCESSOIRES D'UN CANAL

L'élément principal d'un canal, c'est l'écluse; mais à côté de cet ouvrage d'art, partie intégrante de la voie navigable, il se présente d'autres ouvrages souvent très-coûteux et très-considérables. Ce sont ceux qu'il s'agit d'établir à la rencontre des ruisseaux, des rivières et des voies de terre.

A la rencontre des ruisseaux, on établit des aqueducs, et à la rencontre des rivières des ponts-canaux. Les voies de terre passent généralement sur le canal; si elles passaient par-dessous, il y aurait lieu de construire des ponts-canaux; les passages par-dessus sont des ponts ordinaires.

En dehors de ces ouvrages indépendants du canal, il faut placer encore les ouvrages de prise d'eau et les déversoirs, qui sont l'inverse les uns des autres. Les prises d'eau permettent l'introduction dans le canal des eaux alimentaires; les déversoirs permettent l'évacuation des eaux surabondantes et la mise à sec des biefs.

Nous décrirons donc successivement :

- 1° Les abords des écluses et les ponts par-dessus,
- 2° Les ouvrages de prise d'eau et les déversoirs,
- 3° Les aqueducs et ponts-canaux.

1° ABORDS DES ÉCLUSES ET PONTS PAR-DESSUS

La figure 5 de la planche XLV représente le plan général d'une écluse de 7^m,80 d'ouverture, avec ses abords. Il s'agit d'un canal de 15 mètres de largeur au plafond, c'est-à-dire placé dans les conditions du canal Saint-Maurice qui relie la Marne avec la Seine près Charenton.

Le canal a 15 mètres au plafond, 21 mètres à la ligne d'eau, c'est-à-dire à

2 mètres au-dessus du plafond, et 25^m,50 en gueule. Il est flanqué de deux chemins de halage de 5 mètres de largeur chacun.

La plate-forme de l'écluse est limitée aux prolongements mêmes des bords extérieurs de ces chemins, de sorte que les attelages n'ont pas du tout à s'infléchir de leur route. Cette plate-forme est horizontale vers l'amont, elle se rattache avec les chemins de halage d'aval par des rampes inclinées à 0^m,04 ou 0^m,05. Sur le côté droit de l'écluse on voit la maison éclusière. L'écluse est reliée à l'amont et à l'aval à la section normale du canal par des parties évasées, à talus perreyés ; cet évasement a 25 mètres de longueur à l'amont et 55 mètres à l'aval. Le fond même du canal, sur la longueur des évasements, est protégé par un radier perreyé, plus long à l'aval qu'à l'amont afin de mieux résister au choc de l'eau s'échappant des ventelles. Ce radier doit être exécuté avec le plus grand soin et il faut lui donner une épaisseur de 0^m,40 à 0^m,45.

Sous la tête amont de l'écluse passe une petite rivière de 5 mètres de large, qui a été déviée de sa direction primitive pour être amenée sous la tête amont. C'est, en effet, l'endroit le plus favorable pour la construction d'un aqueduc dans les écluses qui possèdent un mur de chute. Soit que les eaux du ruisseau puissent passer librement, soit qu'elles soient forcées de siphonner, on gagne évidemment toute la hauteur du mur de chute ; car, si on établissait l'aqueduc sous le sas, il faudrait donner aux fondations un excès de profondeur égal à la hauteur même du mur de chute. L'excès serait même plus grand que cette hauteur, car l'épaisseur à la clef de la voûte de l'aqueduc devrait être augmentée pour être en mesure de résister à une sous-pression plus forte.

Mais c'est surtout sur la tête aval de l'écluse que nous voulons en ce moment attirer l'attention, car cette tête aval supporte un pont servant au passage d'un chemin.

Il est évident que les chemins coupés par le canal doivent, autant que possible, être déviés pour venir passer sur les écluses, puisque les bajoyers mêmes des écluses peuvent leur servir de fondations et de supports et que cela est une source de grandes économies. Mais la position même du pont sur une écluse n'est pas indifférente ; il faut le mettre là où il laissera sous lui le passage le plus élevé pour les bateaux. Cela aura lieu évidemment à l'endroit où les eaux restent constamment au niveau du bief d'aval, c'est-à-dire sur la tête aval de l'écluse.

On voit, en effet, sur la figure 1 de la planche XXXVI que le pont est posé sur les murs de fuite d'aval. Le dessous du tablier est à une hauteur telle au-dessus du niveau du bief d'aval que le passage soit possible pour les bateaux chargés des matières les plus encombrantes. Au canal de la Marne au Rhin, la hauteur minima a été fixée à 5^m,50.

On n'a pas toujours eu le soin de ménager sous les ponts un passage facile pour le halage, passage qui permette aux bateliers de tirer le câble sous le pont pour le rattacher ensuite aux chevaux qui ont continué à suivre le chemin de halage.

Le type de la figure 5, planche XLV, présente pour cet objet une disposition à imiter ; les murs de fuite d'aval sont arasés en contre-bas des bajoyers du sas d'une hauteur qui peut atteindre la chute même de l'écluse ; on descend sur le couronnement de ces murs de fuite par un escalier de quelques marches, on passe sous le pont, qui de chaque côté de l'écluse laisse un passage libre d'au moins 1 mètre, et on peut remonter immédiatement sur le chemin de halage par un escalier accolé à la tête aval du pont. Le long de la tête amont du pont,

on voit encore d'autres escaliers qui font communiquer directement la plateforme du sas avec les entrées du pont.

Le long des têtes amont et aval de l'écluse, on voit d'autres escaliers qui permettent de descendre facilement au niveau des eaux du canal, de s'embarquer et de descendre dans le sas lors des chômages.

Toutes ces dispositions accessoires, qu'on est exposé à oublier dans un avant-projet, rendent de grands services à la batellerie et aux éclusiers et évitent souvent des pertes de temps considérables.

Il n'est pas toujours possible de placer les ponts sur les écluses et on est forcé souvent de construire des ponts isolés sur les biefs.

Dans ce cas, on ne leur donne pas l'ouverture même du canal et on se contente d'adopter une ouverture égale à celle des écluses. Il est prudent d'adopter une dimension un peu plus forte afin d'éviter les ralentissements et pertes de temps que nous avons signalés et qui se produisent toujours aux passages rétrécis. Ces inconvénients sont d'autant plus sensibles que les prises d'eau alimentaires sont moins rapprochées, parce qu'alors au passage des bateaux sous les ponts il se produit des courants violents.

Au canal de la Marne au Rhin, on a adopté pour ouverture des ponts isolés $5^m,50$; les bateaux ayant $5^m,10$, il reste $0^m,20$ de jeu de chaque côté; cela a été sans inconvénient parce que les prises d'eau sont très-rapprochées. Mais un jeu de $0^m,20$ de chaque côté des bateaux doit être considéré comme un minimum.

Il est bon que les chevaux puissent passer sans être dételés sous ces ponts isolés; on fera donc bien d'adopter un passage de $2^m,50$ du côté du chemin de halage et de 1 mètre du côté du marchepied.

Il va sans dire que les murs de quai qui soutiennent ces passages ne doivent pas se terminer par des arêtes vives et des murs en retour. La meilleure disposition paraît être de les prolonger à l'amont et à l'aval par des murs sur plan circulaire qui viennent s'enraciner dans les talus du canal.

2° OUVRAGES DE PRISE D'EAU ET DÉVERSOIRS

Prises d'eau. — L'alimentation des canaux se fait par des rigoles communiquant avec des réservoirs naturels ou artificiels, ou amenant dans le canal les eaux dérivées d'un ruisseau ou d'une rivière. La section de ces rigoles est calculée, eu égard à la pente, de manière à leur faire débiter un volume d'eau déterminé; nous ne reviendrons pas sur ces calculs que nous avons exposés et dont nous avons donné des applications dans plusieurs sections de notre ouvrage.

Les prises d'eau ordinaires de petite dimension sont disposées comme le montre la figure 6 de la planche XLV; ce sont des ouvrages analogues aux aqueducs sous routes. La tête du côté du canal est terminée par des rampants en maçonnerie inclinés comme les talus de la cuvette; la tête extérieure est munie d'un vannage destiné à interrompre la communication lorsqu'il s'agit de mettre soit le canal, soit la rigole à sec.

Ces ventelleries sont placées du côté opposé au canal afin que les montants et pièces de charpente ne gênent pas le halage en accrochant les câbles.

Quelquefois les prises d'eau sont plus importantes, lorsqu'elles sont destinées à alimenter de grandes longueurs de biefs. Comme exemple, nous reproduirons la description des ouvrages de prise d'eau du canal de la Marne au Rhin.

Prises d'eau du canal de la Marne au Rhin. — Le bief de partage du canal de la Marne au Rhin est alimenté par l'étang de Gondrexange au moyen de prises d'eau établies aux points C et F du plan général, figure 1, planche XXXI. La prise d'eau la plus compliquée est celle du point F. Voici la description qu'en a donnée M. Graëff dans son mémoire publié aux *Annales des ponts et chaussées* de 1856.

Ouvrages de prises d'eau. — Les deux prises d'eau établies au point F du plan général (fig. 1, pl. XXXI), du côté gauche et du côté droit de l'étang, sont placées vis-à-vis l'une de l'autre, et réunies par deux tuyaux en fonte de 0^m,80 de diamètre, qui permettent d'établir ou d'interrompre à volonté la communication entre les deux côtés de l'étang, au moyen des systèmes de vannes qui sont établies dans les prises d'eau. Le dessin de cet ouvrage est donné par les figures 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 de la planche LI.

Les eaux sont tirées de l'étang par un système de trois ventelles *a, a', b*, indiqué par la figure 7 ; les figures 9, 10 et 11 donnent le détail de ces ventelles, qui sont en tôle de 0^m,01 d'épaisseur ; les ventelles marchent dans un châssis formant fourrure, en bois, disposé de manière qu'elles puissent fonctionner indistinctement de l'étang vers le canal ou du canal vers l'étang ; les deux ventelles de prise d'eau du côté du canal *d, d'*, sont indiquées par la figure 8 ; elles marchent dans un châssis semblable à celui qui renferme les ventelles du côté de l'étang. Entre ces deux châssis, fortement assemblés dans des rainures de la maçonnerie, se trouve une espèce de puisard M (fig. 5) dans lequel se font tous les mouvements d'eau. Indiquons maintenant les différentes combinaisons de ces mouvements.

Supposons d'abord qu'on ne veuille prendre de l'eau pour le canal que d'un côté de l'étang, par exemple du côté droit ; dans ce cas on ferme les ventelles *d, d'* de la prise d'eau du côté gauche, ainsi que les ventelles *a, a', b* de ce même côté ; le côté gauche de l'étang est alors isolé. Du côté droit, on ouvre celles des ventelles *a, a', b* du châssis de l'étang qui conviennent le mieux au mouvement. Quand l'eau est à la cote 266^m,50, la ventelle *b* est commode ; mais dès qu'elle baisse à 266 mètres, il devient préférable d'employer les ventelles de fond *a, a'*, pour augmenter le débit. Les ventelles *d, d'* du châssis du canal s'ouvrent d'ailleurs toujours en entier ; de sorte que les eaux sont dans le puisard M au même niveau que dans le canal, et le débit des ventelles *a, a'* du châssis de l'étang se fait en vertu de la différence de niveau entre le plan d'eau de l'étang et celui du canal.

Si l'on veut à la fois alimenter du côté gauche et du côté droit, on fait pour ces deux côtés la manœuvre que nous venons d'indiquer pour un ; les eaux se mettent alors dans les deux puisards M au niveau de celles du canal, ces deux puisards communiquant par les tuyaux, et l'écoulement se fait de chaque côté par des ventelles des châssis de l'étang, en vertu des différences de niveau des plans d'eau de chaque côté de l'étang, et de celui du canal.

On voit que, dans ce cas, les eaux de l'étang ne peuvent pas communiquer d'un côté à l'autre ; elles ne peuvent le faire que lorsqu'on ferme de chaque côté les ventelles *d, d'* des châssis du canal et qu'on ouvre celles des châssis de l'étang. On voit que dans ce cas les ventelles de l'un des châssis de l'étang ont à supporter une pression du dedans au dehors du pui-

sard M, en vertu de la différence de niveau des deux côtés de l'étang, tandis qu'au contraire la pression est toujours du dehors au dedans lorsque la communication entre les deux côtés n'est pas établie par les tuyaux. Il peut en être de même des vannes du châssis du canal; si, par exemple, il y a une réparation à faire dans le puisard, il est évident qu'il faut l'épuiser et le tenir à sec, et que dès lors les ventelles du châssis du canal fermées ont à supporter la pression des eaux du canal vers le puisard; l'inverse arrive si, en alimentant par les ventelles de l'étang, on n'ouvre pas suffisamment les ventelles du canal, car alors l'eau s'élève évidemment dans le puisard plus haut que celle du canal. On voit que cet ouvrage de prise d'eau se prête à toutes les combinaisons possibles du mouvement des eaux; seulement, lorsqu'on veut faire communiquer les deux côtés de l'étang, pour en équilibrer les eaux après un orage, par exemple, on ne peut pas alimenter le canal, cette communication ne pouvant s'établir qu'en fermant les ventelles *d*, *d'* des châssis du canal; mais cela n'a aucun inconvénient, en définitive, puisqu'il y a une seconde prise d'eau au point C du plan général et que, par conséquent, on peut se servir de cette prise d'eau, lorsqu'on veut, à la prise d'eau du point F du plan général, établir la communication entre les deux côtés de l'étang.

Les deux côtés de l'étang de Gondrexange sont donc deux réservoirs tout à fait séparés en tant qu'il s'agit de l'alimentation du canal, et qui peuvent à volonté communiquer entre eux et s'équilibrer lorsque les prises d'eau du canal sont fermées.

Des vannages en fonte. — Les vannages tout en bois, ou en bois et fer, ont l'inconvénient d'une durée limitée; les bois, soumis sur une face au moins à des alternatives de sécheresse et d'humidité, ne peuvent avoir une longue existence.

Aussi n'est-il pas étonnant que l'on ait cherché depuis longtemps à se servir de vannages métalliques.

On a fait des vannages en fer et des vannages en fonte.

Le fer offre de grands avantages à cause de sa résistance au choc, mais il est excessivement sensible aux influences oxydantes, et, malgré les soins assidus qu'on leur donne, on ne peut répondre d'une bien longue durée pour la plupart des ouvrages en fer. La peinture n'est jamais parfaite et laisse toujours quelque point vulnérable par où la rouille s'introduit. Les ponts en fer, exposés à des influences oxydantes, comme les ponts par-dessus du chemin de fer métropolitain de Londres et du chemin de fer de ceinture de Paris, seront donc rongés progressivement par la rouille, et il viendra un moment où il faudra les remplacer. Une invention nouvelle, qui consiste à soumettre les fers à l'action oxydante de la vapeur d'eau dans des étuves chauffées à 500°, semble devoir prendre une grande importance pour la conservation du fer; c'est dans ce cas l'oxyde magnétique et non le sesquioxyde hydraté, qui se forme à la surface; cet oxyde magnétique constitue une patine adhérente qui protège contre la rouille le métal qu'elle recouvre. Si cette propriété est justifiée dans la pratique, il en résultera une grande sécurité dans l'emploi du fer.

Quoi qu'il en soit, lorsqu'on veut aujourd'hui recourir à un métal peu oxydable, on emploie la fonte, malgré l'inconvénient qu'elle présente de se briser facilement sous les chocs et de n'offrir à la traction qu'une faible résistance.

C'est la fonte que M. l'ingénieur Gérardin a choisie pour la construction des vannages du canal dérivé de la Marne, et destiné à alimenter l'usine de Condé-sur-Marne. Les figures 5 à 7 de la planche XLVIII représentent un de ces vannages.

« Pour former ces vannages, dit M. Gérardin, dont quelques-uns ont des dimensions assez grandes et sont soumis à de fortes pressions, le bois convenait peu. Il est encombrant, il est d'un entretien difficile, il oblige à des dispositions qui rendent les manœuvres plus pénibles ; aussi on était conduit tout naturellement à construire ces vannages en métal, et nous avons choisi la fonte pour les motifs que voici :

« Le fer, dans les eaux de la Marne, s'oxyde assez rapidement, malgré les peintures et les goudronnages qui, dans un courant, sont bien vite enlevés ; la fonte, au contraire, semble se conserver assez intacte.

« La fonte, qui résiste parfaitement à la compression, tandis qu'à la traction elle ne peut supporter que de faibles efforts, est une excellente matière pour composer non-seulement des objets soumis à des pressions, mais encore ceux qui travaillent par flexion et dont les formes permettent dans une section d'avoir une grande surface pour les parties tirées, et une faible pour les parties comprimées. C'est justement ce qui arrive pour les vannages.

« Une plaque de fonte, armée de nervures, travaille dans de bonnes conditions si on lui fait fermer une ouverture contre l'eau et si l'on a soin de tourner les nervures vers l'amont. Alors, en effet, la fibre neutre est très-voisine de la plaque ; les efforts de traction qui s'exercent dans celle-ci sont faibles par cette raison, et parce que la surface est grande, tandis que les nervures supportent une forte compression, qui convient à la nature du métal.

« L'application de la fonte à la construction des vannages est donc très-rationnelle, et elle l'est d'autant plus qu'il n'y a dans cet emploi à redouter aucun choc.

« Après trois ans d'existence, les nombreuses vannes en fonte établies sur le canal qui nous occupe, se comportaient parfaitement et constituaient des modes de fermeture d'une étanchéité absolue. »

Ces vannes ont, en outre, l'avantage d'être très-économiques d'établissement. On les manœuvre au moyen de vis en fer tournant dans des écrous en bronze. La partie filetée et l'écrou sont toujours au-dessus de l'eau pour être facilement graissés.

Les vannes larges se manœuvrent par deux vis placées chacune à un bout et reliées par des engrenages, afin que leurs mouvements soient parfaitement solidaires.

Les vis sont un appareil de transmission médiocre et délicat ; elles ont l'avantage de s'arrêter où l'on veut, sans qu'il soit besoin de taquets d'arrêt. Il nous paraît préférable de recourir à des pignons et crémaillères, qui fonctionneront toujours plus facilement, en donnant lieu à moins de grippements et de frottements, et qui seront moins exposés à se fausser et à se déranger par la négligence des agents.

Déversoirs ; ouvrages de décharge. — Lorsqu'il existe des prises d'eau abondantes, susceptibles de dépasser par moments la consommation du canal, il faut ménager dans les biefs auxquels ces prises d'eau correspondent, des déversoirs de superficie capables de livrer passage à l'excès du débit. Comme cet excès est variable, le déversoir doit être lui-même capable d'un débit variable ; en le formant avec des poutrelles horizontales superposées, on se donne la faculté de le régler à volonté. La maçonnerie du déversoir ne diffère guère de celle de la prise d'eau ; les vannes sont remplacées par des poutrelles.

Si la largeur du déversoir atteint et dépasse 2 ou 3 mètres, on le contient entre deux bajoyers qui supportent un pont en maçonnerie ou en charpente, le-

quel sert au passage du chemin de halage. Il peut même y avoir des déversoirs à plusieurs arches.

Les déversoirs de superficie sont essentiellement des ouvrages régulateurs ; nous avons expliqué, à la page 287, comment on s'en était servi au canal de la Marne au Rhin pour établir entre les biefs successifs des communications latérales aux écluses.

Les ouvrages qui permettent de mettre complètement à sec soit une section du canal, soit une rigole, sont des vannages de fond, qui ne diffèrent des vannages de prise d'eau qu'en ce qu'ils ont à jouer un rôle inverse et que les vannes doivent être disposées pour résister à la pression venant du canal.

Ces vannages de fond sont évidemment placés dans les parties du canal en remblai, parce que c'est là qu'on trouve la chute nécessaire à l'écoulement. Cependant on ne les placera pas dans un remblai élevé, parce qu'il en résulterait une chute considérable, dangereuse pour les maçonneries. Généralement, c'est dans le voisinage des points de passage du remblai au déblai que l'on rencontrera l'emplacement le plus convenable.

Il est économique et avantageux de placer les vannages de fond juste au-dessus des aqueducs, qui laissent passer sous le canal les ruisseaux coupés par lui. La figure 4 de la planche XLVI représente une disposition de ce genre.

Comme type des grands ouvrages de décharge, nous donnerons la description, d'après M. Graëff, de ceux du bief de partage des Vosges :

On trouve, de chaque côté de l'étang de Gondrexange, aux points G et E du plan général (figure 1, pl. XXXI), un ouvrage de décharge. Les figures 1, 2, 5, pl. XXXV, empruntées au mémoire de M. Graëff, représentent l'ouvrage du point E. On voit, par la coupe, que la rigole de fuite traverse sous une voûte la digue de l'étang et passe en aqueduc sous le canal pour gagner le ruisseau de fuite principal.

Le déchargeoir comprend une vanne de fond et un déversoir circulaire : la vanne de fond a 1^m,20 de large et peut se lever de 0^m,70. Le déversoir circulaire a son seuil à 0^m,40 en contre-bas de la ligne d'eau normale de l'étang, ligne qui se trouve à la cote 266^m,50. Au-dessus du seuil, on a placé un empellement composé de petites vannes faciles à lever au moyen de simples tiges, « de sorte qu'on peut à volonté fermer tout le déversoir ou en ouvrir telle ou telle partie. Cet ouvrage ne fonctionne, comme déversoir, que lorsque les eaux sont à la cote 266^m,50 ; dans ce cas, elles passent par-dessus les petites ventelles qui sont arasées à cette cote, et encore peut-on y adapter des vannes mobiles, si l'on veut tenir les eaux plus haut que 266^m,50. Il se prête donc à toutes les combinaisons de mouvement que peut présenter le système hydraulique de l'étang.

Comme déversoir de superficie et comme vannage de fond, on a employé au canal du Midi les ouvrages à siphon que représentent les figures 4, 5 de la planche XLV. Dans un massif de maçonnerie, on a ménagé deux siphons *s*, ayant le sommet de leur branche interne au niveau que les eaux ne doivent pas dépasser. Quand ce niveau est atteint, les siphons fonctionnent comme déversoirs ; l'eau qui s'épanche entraîne l'air, dont la pression diminue, de sorte que les siphons ne tardent pas à s'amorcer complètement et à fonctionner à pleine section.

Une fois amorcés, ils ne s'arrêteraient qu'au moment où leur orifice débouchant dans le canal se découvrirait. Ce n'était pas le résultat qu'on voulait atteindre. Au niveau au-dessous duquel les eaux ne doivent pas baisser, on a donc ménagé, dans la branche ascendante des siphons, un évent ou petit

conduit horizontal, qui permet à l'air de s'introduire lorsque les eaux sont venues à son niveau ; les siphons s'arrêtent alors.

Entre les deux siphons, on voit dans la maçonnerie un autre conduit *m*, fermé par une vanne ; celui-ci sert à la vidange de fond.

Ces appareils sont assez délicats à construire ; ils coûtent cher et doivent être entretenus avec grand soin. Le siphon est, du reste, un moyen d'épuisement des plus médiocres lorsqu'il est employé sur de grandes proportions ; nous avons eu déjà l'occasion de signaler l'inconvénient qu'il présente : l'eau qui se trouve au sommet du siphon est à une pression inférieure à la pression atmosphérique ; elle ne peut plus maintenir en dissolution tous les gaz qu'elle contient et ceux-ci s'accumulent dans la chambre du sommet ; ils ne sont pas toujours entraînés par le courant et finissent par arrêter l'écoulement. Il est probable que les siphons du canal du Midi fonctionnaient plus souvent comme déversoirs de superficie que comme siphons véritables.

On les a, du reste, abandonnés.

Nous étudierons plus loin une application beaucoup plus intéressante de siphons faite au réservoir de Mittersheim.

3° AQUEDUCS ET PONTS-CANAUX

Aqueducs. — Les aqueducs sont destinés au passage des ruisseaux et petites rivières. Lorsqu'il y a une hauteur suffisante sous le canal, la construction de ces ouvrages est identique à celle des aqueducs sous route ; il faut proportionner la section au débit maximum du cours d'eau et donner à la voûte assez d'épaisseur pour qu'elle ne s'écrase pas sous la charge qu'elle doit supporter, le canal étant plein.

Ces dispositions ne présentent aucune difficulté.

Mais, lorsque la hauteur manque, il faut recourir à des précautions particulières : on substituera à la maçonnerie des tuyaux cylindriques en ciment ou en métal ; si un seul tuyau ne suffit pas, on en placera l'un à côté de l'autre plusieurs de même diamètre ; cependant il est toujours plus économique de n'avoir qu'un seul tuyau de grand diamètre lorsque la hauteur disponible le permet.

Pour économiser la hauteur, on peut encore substituer à la voûte en maçonnerie des fers à double T avec petites voûtes en briques ; mais l'emploi du fer dans de pareilles conditions ne paraît pas devoir être conseillé, et mieux vaut, suivant nous, recourir à des plaques de fonte à nervures.

Enfin, lorsque la hauteur est absolument insuffisante pour qu'on puisse conserver à l'eau son cours naturel, il faut bien recourir à des siphons renversés ; ces siphons ont des têtes et des puisards en maçonnerie, mais la branche horizontale peut se composer de tuyaux en métal ou en ciment ou d'une voûte en maçonnerie.

La voûte doit être calculée pour résister à la sous-pression lorsque le canal est vide et le ruisseau à son maximum de débit, parce que c'est alors que cette sous-pression est la plus forte possible. Pour faire le calcul de résistance, on négligera l'adhérence du mortier ; on considère la partie de voûte qui se trouve

au-dessus des joints de rupture, c'est-à-dire au-dessus des joints inclinés à 50° sur l'horizon, on en recherche le poids auquel on ajoutera le poids de la surcharge en terre qui recouvre la voûte. Ce poids total devra équilibrer la composante verticale de la sous-pression transmise par l'eau à la partie de voûte considérée ; cette sous-pression est le produit de la hauteur du plan d'eau d'amont au-dessus de l'intrados de l'aqueduc par la projection sur un plan horizontal de la partie de voûte considérée.

Les figures 15 et 16 de la planche XLVII représentent un aqueduc-siphon en maçonnerie.

Les figures 1 et 2 de la planche XLVII représentent un aqueduc formé de deux tuyaux en fonte de 1 mètre de diamètre noyés dans un massif de béton.

Les chambres des aqueducs-siphons doivent toujours être assez grandes pour qu'un homme au moins puisse y manœuvrer à l'aise lorsqu'il s'agit de curer la branche horizontale.

Il convient de laisser toujours au-dessus des siphons et aqueducs une épaisseur de 0^m,20 à 0^m,50 de gravier ou de pierre cassée afin qu'ils ne soient pas exposés à se crever sous les coups de gaffe.

« Une précaution indispensable pour les aqueducs sous un canal, dit M. Graëff, est de crépir d'une couche de 0^m,01 à 0^m,015 d'épaisseur en bon mortier tous les parements des murs du côté des terres. Cette couche de mortier fait suite à celle qu'on met comme chape sur le béton qui recouvre les voûtes et les dalles au-dessus des culées, de sorte que toute la partie de la carcasse de l'aqueduc exposée aux filtrations des eaux est pour ainsi dire revêtue d'une chemise continue en mortier ; sans cette précaution, il est impossible d'avoir des aqueducs parfaitement étanches, les massifs des culées ayant trop peu d'épaisseur pour qu'on puisse compter qu'ils ne laisseront point passer d'eau. Il est aussi commun de voir des murs peu épais, très-bien soignés d'ailleurs, traversés par les eaux, qu'il est rare de voir des suintements à travers de gros massifs pour peu que leurs maçonneries aient été faites suivant les règles de l'art. »

Les figures 1 à 3 de la planche XLVI représentent un aqueduc établi sous le canal latéral à la Marne pour le passage de la rigole alimentaire de l'usine de Condé. Cet aqueduc comprend deux arches elliptiques de 5 mètres d'ouverture et de 1 mètre de montée ; la hauteur totale sous clef est de 1^m,50.

Les voûtes ne se poursuivent pas jusqu'aux têtes, mais vont en s'évasant sous les digues et sont appareillées en trompes. Cette disposition atténue la contraction de la veine liquide et empêche l'amoncellement des herbes et des corps flottants. Le niveau d'étiage est indiqué sur la figure. Lors des crues les eaux ne passent qu'en siphonnant et la sous-pression au sommet de l'intrados correspond à une hauteur de 3^m,50 ; il est vrai qu'à ce moment le canal est nécessairement plein et par conséquent exerce une surcharge de 2 mètres sur l'intrados de l'aqueduc.

Les figures 7 à 10 de la planche XLVI représentent un aqueduc simple sous la rigole alimentaire de l'usine de Condé-sur-Marne et les figures 4 à 6 de la planche XLVI représentent un autre aqueduc avec vanne de décharge destinée à mettre la rigole à sec en laissant écouler les eaux dans l'aqueduc.

Pour terminer ces généralités sur les aqueducs, nous dirons quelques mots des siphons en fonte du canal d'Aire à la Bassée.

Lorsqu'on voulut, dans ces dernières années, augmenter le mouillage du canal d'Aire à la Bassée, il fallut remplacer par des siphons en fonte vingt-huit

anciens siphons en charpente ou passages d'affluents dans des écluses carées.

Chaque siphon était formé d'une conduite de 16 mètres de longueur et de 1^m,10 de diamètre intérieur ; cette conduite comprenait quatre tuyaux de 4^m,105 de longueur assemblés à cordon et emboitement.

La conduite entière était montée sur la rive et lancée dans le canal, les bouts étant fermés pour empêcher l'introduction de l'eau ; on soutenait le tout entre des barriques et on amenait le radeau à l'emplacement préalablement dragué à la profondeur convenable pour recevoir le siphon.

L'opération se faisait sans que la navigation fût interrompue.

L'immersion de la conduite, maintenue à chaque bout par des pieux verticaux, se faisait en laissant l'eau pénétrer dans l'intérieur à chaque extrémité. Mais la manœuvre était assez délicate et exigeait beaucoup de soins, parce qu'on voulait obtenir un enfoncement régulier et éviter toute déformation.

Lors de l'assemblage sur la rive, on passait dans chaque emboitement une bague en caoutchouc de 0^m,02 d'épaisseur et de 0^m,90 de diamètre annulaire ; on poussait la bague aussi loin que possible avec des coins ; puis on remplissait les joints avec des étoupes matées au ciseau et avec un mélange de goudron et de brai appliqué à chaud. Cela donnait un joint provisoire suffisamment solide et élastique.

Lorsque la conduite a été en place, on a pu, sans interrompre la navigation, établir à chaque bout des batardeaux coffrés, à l'abri desquels on a construit les têtes en maçonnerie.

Cette construction achevée, les joints de la conduite n'ayant plus de mouvements à subir, on les a étanchés complètement en coulant à l'intérieur du ciment pur.

La disposition et l'établissement des siphons sont dus à M. l'ingénieur Aron.

Ponts-canaux. — Les ponts-canaux sont en charpente, en maçonnerie ou en métal. Nous ne traiterons pas des ponts-canaux en charpente, qui ne peuvent être que des ouvrages essentiellement provisoires ; on les emploie cependant aux États-Unis, où il y a des exemples de ponts-canaux suspendus, formés d'une bache en bois soutenue par des câbles en fer.

Nous parlerons seulement des ponts-canaux en maçonnerie et des ponts-canaux en métal, fer ou tôle.

Évidemment, nous n'avons pas à revenir ni sur les calculs de résistance, ni sur les fondations, ni sur les dispositions des voûtes et des piles ; les ponts-canaux ne diffèrent en rien sous ce rapport des ponts ordinaires. Il va sans dire seulement qu'on introduit dans le calcul la surcharge due au poids de l'eau qui remplit la bache ; il n'y a pas à tenir compte du poids des bateaux, puisque chaque bateau qui se trouve sur le pont chasse de la bache un volume d'eau dont le poids est précisément égal au poids du bateau. La surcharge des ponts-canaux est donc constante et uniformément répartie sur toute la longueur.

Ponts-aqueducs en maçonnerie. — Les figures 9 à 14 de la planche XLVII représentent le pont-aqueduc de Digoïn, par lequel le canal latéral à la Loire traverse ce fleuve.

Il se compose d'arches de 16 mètres d'ouverture et de 7 mètres de montée, qui ont une épaisseur de 4^m,50 à la clef. La cuvette a une largeur de 6 mètres en gueule et de 5^m,60 au plafond. Au point de vue architectural, on peut critiquer la grande hauteur des tympanons laissée nue ; avec une corniche plus accu-

sée, supportée par de hauts modillons, on eût certainement obtenu un meilleur effet.

Le pont-canal du Guétin sur l'Allier, établi également pour le passage du canal latéral à la Loire, est analogue au précédent; il en diffère surtout en ce que les fondations sont établies sur un radier général en béton, recouvrant le fond sableux du fleuve.

Les figures 11 à 14 de la planche XLVII représentent la manière dont sont disposées les cuvettes de ces deux grands ponts-canaux.

La condition que l'on doit rechercher le plus dans les ponts-canaux, c'est l'étanchéité; quand on examine tous les aqueducs existants, on peut considérer l'imperméabilité absolue des maçonneries comme impossible à obtenir. Des aqueducs portés par des voûtes de 2 mètres de diamètre laissent eux-mêmes suinter l'eau. On doit toutefois prendre toutes les précautions possibles pour tâcher d'obtenir l'étanchéité, afin de réduire le suintement au minimum.

Par suite des changements de température, les maçonneries éprouvent des mouvements de contraction et de dilatation donnant lieu à des ouvertures de joints qui passeraient peut-être inaperçues dans un pont ordinaire et qui, dans un aqueduc, se traduisent par des filtrations capillaires.

Les chapes les plus soignées ne réussissent pas toujours, même si elles sont faites avec les meilleurs ciments; elles se fissurent en effet à la moindre déformation, et le desideratum serait d'obtenir une chape imperméable et douée en même temps d'une certaine élasticité.

Au pont-canal du Guétin et de l'Allier, on a obtenu des résultats satisfaisants en recouvrant la cuvette de dalles en lave de Volvic, figure 11, planche XLVII, *aa*, qui sont minces et offrent peu de joints faciles à boucher. Sur ces dalles poreuses, on a appliqué deux couches croisées d'enduit en bitume *m* donnant une épaisseur de 0^m,01; ces couches de bitume sont adhérentes à la lave et à la brique bien cuite, mais n'adhéreraient pas à une maçonnerie ordinaire, ni à une surface humide.

Comme le montrent également les figures 11 et 12 de la planche XLVII, on protège les parois latérales de la cuvette avec des lisses en bois supportées par des poteaux et des contre-fiches. Il va sans dire que les boulons qui lient entre elles ces pièces de bois doivent avoir leur tête noyée, afin de ne point érafler les bateaux.

Souvent on s'est contenté d'enduire les cuvettes avec du bon ciment romain. L'ouvrage que nous allons décrire nous en donnera un exemple.

Pont-aqueduc de Montreuillon. — La rigole de dérivation, destinée à amener au bief de partage du canal du Nivernais un volume de 1 mètre cube par seconde pris dans l'Yonne supérieure, offre plusieurs ouvrages intéressants, notamment deux ponts-aqueducs à Marigny et à Montreuillon.

Ces ponts-aqueducs seraient avantageusement remplacés aujourd'hui par des siphons métalliques; néanmoins, il convient de les faire connaître.

Le plus grand des deux, celui de Montreuillon, est représenté par les figures 5 à 8 de la planche XLVII.

Il est établi au passage de l'Yonne, et se compose de 13 arches en plein cintre de 8 mètres d'ouverture, séparées par des piles dont l'épaisseur est de 2 mètres au niveau de la naissance des voûtes.

La figure 5 donne la coupe en travers de l'arche la plus élevée, dont la hauteur de pile est de 22^m,52 non compris le socle.

M. l'ingénieur Charié-Marsaines, auteur du projet, se livra à une étude appro-

fondie pour reconnaître quel était le système le plus économique, et sa conclusion fut qu'il convenait de préférer les petites arches aux grandes. Il est probable que s'il avait étudié un système de piles supportant une bache en tôle, il ne fût pas arrivé à la même conclusion ; mais, nous le répétons, un siphon en tôle eût été plus économique encore.

Le pont-aqueduc en maçonnerie a coûté 270 000 francs.

Les cinq piles en rivière ont des avant-becs profilés comme ceux des piles de ponts ordinaires.

Les piles et les voûtes sont construites en pierres de taille ; avec cet appareil régulier, on était plus certain d'éviter les tassements inégaux, et, par suite, les fissures dont on ne saurait trop se défendre dans un pont-aqueduc. Les culées et les reins des voûtes sont seuls en maçonnerie de remplissage.

« Pour rendre la cunette bien étanche et préserver le pont de toute filtration, on a établi dans toute la largeur comprise entre les deux plinthes un massif de béton de 50 centimètres et, de plus, on a recouvert tout le périmètre de la cunette d'un enduit en ciment de 0^m,05 d'épaisseur, appliqué sur une couche de 0^m,06 en rocaillage ou béton composé de ce même ciment et de fragments de granit concassé. Ce mode de revêtement a donné de bons résultats, et l'on n'a aperçu aucune filtration dans la cunette, sauf vers la culée gauche du pont où un léger tassement dans les maçonneries avait produit une fissure dans l'enduit. »

Pont-canal de la Walck. — Les figures 1 et 2 de la planche XLV représentent le pont-canal établi pour le passage du canal de la Marne au Rhin, sur la rivière la Walck.

Ce pont se compose de trois arches de 5 mètres d'ouverture et de 0^m,68 de flèche ; il importe, en général, dans les ponts-canaux, d'adopter des voûtes aussi surbaissées que possible, afin de placer le plan d'eau à la moindre hauteur. Cela est très-important et peut donner de grosses économies ; en effet, la hauteur des remblais aux abords est réduite à son minimum. Quelquefois même, cela peut permettre de ne point construire d'écluse immédiatement à l'aval du pont.

Précisément à cause de la grande hauteur de ces ouvrages, on trouve presque toujours à l'aval au moins une écluse, et quelquefois plusieurs écluses accolées. On trouve à cette disposition plusieurs économies : 1^o la culée du pont forme la tête amont de l'écluse supérieure ; 2^o le canal descend immédiatement au niveau de la plaine, et les terrassements se réduisent au strict nécessaire. Mais, nous savons aussi que les écluses accolées, faisant suite à un passage rétréci de longueur notable, réduisent de beaucoup la puissance de circulation d'un canal.

La cuvette du pont-canal de la Walck a 5^m,20 de largeur comme les écluses ; cette largeur serait trop faible et retarderait beaucoup les bateaux sur un pont-canal de grande longueur. En effet, l'écoulement des eaux refoulées par les bateaux doit se faire entre eux et les parois de la cuvette, et il faut rendre cet écoulement facile ; la largeur de 6 mètres en gueule adoptée au Guétin et à Digoin est elle-même trop faible.

Les parois verticales de la cuvette du pont de la Walck sont en moellon piqué rejointoyé au ciment ; les voûtes sont recouvertes d'une chape en asphalte de 0^m,045 d'épaisseur, recouverte d'un dallage de 0^m,065 d'épaisseur ; « ce dallage s'engage en formant liaison avec les pierres inférieures des bajoyers qui font retour dans le radier. C'est aussi contre ces pierres, dans l'angle, que la

chape en asphalte s'arrête, en y pénétrant par un petit refouillement. »

On eut soin de charger les cintres avant de construire la voûte, et de charger la voûte elle-même, avant de faire la chape, d'une quantité égale à la surcharge future ; les tassements ultérieurs furent ainsi réduits au minimum. Néanmoins ils se produisirent et des filtrations se manifestèrent. Au premier chômage, on dégrada et on abattit en biseau, avec le ciseau, les joints des dalles qui furent garnis de ciment romain. Cette réparation suffit pour mettre les choses en état convenable. L'emploi du ciment romain, renouvelé lorsque cela sera nécessaire, semble donc suffisant pour assurer le degré d'imperméabilité qu'il est possible d'atteindre, eu égard aux petits mouvements inévitables des massifs de maçonnerie.

Les têtes des ponts-aqueducs sont quelquefois terminées par des murs en retour ; c'est une disposition vicieuse, car elle expose les maçonneries au choc des bateaux, et elle force les chevaux de halage à un détour trop brusque ; il conviendra donc de raccorder l'embouchure d'un pont avec la section normale du canal au moyen de murs en aile ou de murs établis sur plan circulaire, ainsi que nous l'avons indiqué déjà en parlant des écluses et des ponts isolés.

La liaison des terres en remblai et des culées est très-difficile à obtenir ; elle est déjà pleine de difficultés lorsqu'il s'agit des grands viaducs de chemins de fer, et nous engageons le lecteur à se reporter à ce que nous avons déjà dit à ce sujet dans notre *Traité des ponts en maçonnerie*.

Les difficultés augmentent encore lorsqu'il s'agit d'un pont-canal, puisqu'il y a à redouter les filtrations au contact de la maçonnerie et du remblai. Généralement, à l'aval, les précautions sont superflues, puisque la maçonnerie du pont se prolonge par la maçonnerie d'une ou de plusieurs écluses, et que le mur de la première fait immédiatement suite à la culée.

Il n'en est pas de même à l'amont : aussi faut-il prolonger assez loin la culée et les murs en retour, et faut-il avoir soin d'établir une cuvette maçonnée sur une certaine longueur en amont, jusqu'à un point où les filtrations ne seront plus à craindre.

Ponts-aqueducs en métal. — Les ponts-aqueducs en métal sont assez répandus ; ils économisent en effet la hauteur, et, par conséquent, rendent beaucoup moins coûteux les remblais aux abords.

On a fait des ponts-canaux en fonte et des ponts-canaux en tôle ; nous les examinerons successivement.

Ponts-canaux en fonte. — Les figures 1 à 4 de la planche XLVIII représentent deux ponts-canaux en fonte, construits dans deux systèmes différents.

Le premier (figures 3, 4) est le pont-canal de Grancey, qui présente en dix arches égales un débouché linéaire de 20 mètres de longueur ; ce pont livre passage au canal de la haute Seine, sur un faux bras de cette rivière. Les piles ont 0^m,65 de large et une hauteur de 1^m,20 au-dessus du radier ; elles supportent des voûtes formées de plaques de fonte de 0^m,03 d'épaisseur, assemblées à joints croisés au moyen de nervures verticales qui se boulonnent les unes contre les autres. Les plaques de fonte ont une ouverture de 2 mètres et une flèche de 0^m,50 ; les nervures ont 0^m,06 de saillie sur l'extrados des plaques. Pour empêcher toute déformation, les portées horizontales par lesquelles les pièces de fonte s'appuient sur les piles sont maintenues par de grands boulons verticaux noyés dans la maçonnerie des piles et disposés comme le montrent les figures. Les plaques de fonte n'existent que sous la cuvette du canal ; elles supportent une couche de bon béton arasée horizontalement ; la largeur du canal est de

7^m,80. Pour supporter les parois latérales de la cuvette, il était inutile de conserver les plaques de fonte ; on n'avait pas besoin de ménager la hauteur ; les bajoyers, de 1^m,70 de large, sont donc en maçonnerie et supportés par des voûtes en maçonnerie dont l'intrados est le même que celui des plaques de fonte ; sur les têtes, l'ouvrage est donc identique à un pont en maçonnerie.

On aurait pu employer, au lieu de plaques de fonte, des poutres en fer laminé à double T, et soutenir les chemins de halage soit par un encorbellement, soit par des arcs spéciaux en fers composés.

Le pont de Grancey est établi sur radier général en béton.

Le pont-canal de Barberey (figures 1, 2) situé sur la haute Seine, en aval de Troyes, est entièrement en fonte. Il se compose de cinq arches de 8^m,40 d'ouverture et de 0^m,70 de flèche, séparées par des piles de 1^m,50. Les piles supportent des arcs en fonte à extrados horizontal ; il y a six de ces arcs qui sont analogues aux arcs de ponts-routes et qui sont espacés, ceux de tête de 1^m,50, et ceux du milieu de 1^m,85. Ces arcs supportent une cuvette tout en fonte, dont le fond horizontal repose sur les extrados des arcs et dont les parois verticales sont à l'aplomb des arcs de tête ; ces parois verticales, assemblées à nervures, portent un léger encorbellement. Les chemins de halage, de 2 mètres de large, sont soutenus, pour la partie qui n'est pas en encorbellement, par des fermes en charpente reposant sur la cuvette en fonte, et ne laissant au passage des bateaux qu'une largeur libre de 5^m,20. Il est vrai que, même avec cette largeur réduite, le halage est beaucoup plus facile que dans une cunette en maçonnerie de plus grande dimension, parce que l'eau refoulée s'échappe latéralement sous les chemins de halage. Lors de la mise en eau, quelques arcs intermédiaires se rompirent sur les montants verticaux qui réunissent les arcs proprement dits ou intrados avec les longerons ou extrados ; ces pièces de fonte étaient mal comprises comme exécution, et d'ailleurs un peu faibles pour le travail qu'on leur demandait ; on les remplaça par des arcs non évidés, tels que ceux de tête, et les accidents ne se renouvelèrent plus.

Ponts-canaux en fer ; pont-canal de l'Albe. — Comme type des ponts-canaux en fer, nous choisirons le pont par lequel le canal des houillères de la Sarre traverse la rivière d'Albe.

Le modèle de cet ouvrage a figuré à l'Exposition universelle de 1867, et la description suivante est extraite des notices publiées à l'occasion de cette Exposition par le Ministère des travaux publics.

La planche XLIX donne les dispositions générales de cet ouvrage.

La planche L renferme les détails.

Une des difficultés principales était d'assurer la continuité entre la cuvette métallique et les deux parties adjacentes du canal, sans cependant nuire au jeu de la dilatation. Les ingénieuses dispositions adoptées ont donné de bons résultats et ont maintenu l'étanchéité ; elles ont été fréquemment appliquées depuis.

Voici, du reste, la description complète de l'ouvrage :

Système adopté. — Le pont-canal de l'Albe se compose de deux parties essentiellement distinctes, les supports et la superstructure ; les supports sont en maçonnerie, la superstructure est en tôle et fers spéciaux du commerce.

La substitution d'une superstructure métallique horizontale aux voûtes en maçonnerie employées dans l'établissement des ponts-canaux a permis :

1° D'obtenir une étanchéité parfaite et de mettre toute la construction complètement à l'abri des filtrations qui sont toujours pour elle une cause de dégradation et de ruine ;

2° De réduire la hauteur de l'ouvrage à son plus strict minimum, tout en réservant aux crues de la rivière un débouché plus grand et plus facile ;

3° Et, comme conséquence, de diminuer beaucoup le relief considérable des remblais dans toute la traversée de la vallée; ce qui a procuré le double avantage de placer le canal dans de meilleures conditions de stabilité et d'étanchéité, et de réaliser, en même temps, une économie d'environ 200 000 francs.

Le fer et la tôle, qui ont déjà rendu de très-grands services dans la construction des viaducs, peuvent ainsi en rendre également de très-grands dans celle des ponts-canaux, plus grands encore peut-être, car le profil en long des biefs, soumis à l'obligation rigoureuse d'une horizontalité parfaite, ne peut être infléchi aux abords des ouvrages comme celui des autres voies.

Dispositions d'ensemble. — La superstructure du pont-canal de l'Albe a 47^m,60 de longueur et 11 mètres de largeur; elle se compose essentiellement :

1° D'une voie d'eau de 6^m,80 de largeur, contenue dans une bêche ou cuvette en tôle dont les parois verticales remplissent le rôle de poutres;

2° De deux chemins de halage, de 2^m,10 de largeur chacun, placés en encorbellement extérieur de chaque côté de la cuvette.

Le tout repose, par l'intermédiaire de chariots de dilatation, sur deux piles et deux culées, et forme ainsi trois travées dont les ouvertures ont été réglées de manière à réaliser à très-peu près les conditions d'un pont équilibré.

Le vide des ouvertures est de 17 mètres dans la travée centrale et de 12^m,50 dans les deux travées de rive; les longueurs d'appui sont de 1^m,50 sur les piles et de 0^m,90 sur les culées.

En arrière des chariots de dilatation des culées, la superstructure métallique se prolonge de 0^m,50 et pénètre dans les maçonneries comme un piston dans un corps de pompe; une garniture en étoupes goudronnées de 0^m,06 d'épaisseur est interposée pour assurer l'étanchéité.

Sauf dans cette petite chambre d'étanchement, toute la partie métallique est complètement isolée des maçonneries, et il reste partout autour d'elle de larges espaces pour la libre circulation de l'air et de la lumière, ainsi que pour les visites et les réparations.

Cuvette. — La cuvette en tôle qui contient la voie d'eau est de forme rectangulaire avec angles arrondis; l'eau y occupe une hauteur de 1^m,80.

Les parois latérales de cette cuvette s'élèvent à 0^m,75 au-dessus du plan d'eau et se prolongent de 0^m,50 au-dessous du niveau général du fond; elles ont 0^m,010 d'épaisseur et forment deux grandes poutres de 5^m,05 de hauteur, qui sont renforcées : 1° par deux tablettes horizontales de 0^m,40 de largeur et de 0^m,010 d'épaisseur, l'une supérieure, l'autre inférieure; 2° par des montants ou contre-forts verticaux extérieurs de 0^m,26 de saillie, espacés de 1^m,40 d'axe en axe.

La paroi horizontale qui forme le fond a 0^m,008 d'épaisseur; elle est relevée sur chaque bord suivant un quart de cercle de 0^m,70 de rayon et se raccorde ainsi tangentiellement avec les parois verticales; ce fond repose directement : 1° sur 55 entretoises transversales dont la hauteur est de 0^m,50, sauf près des poutres, où leur dessus se relève pour épouser exactement la forme circulaire des angles de la cuvette; 2° par trois cours de longrines longitudinales de 0^m,18 de hauteur, espacées de 1^m,70 d'axe en axe.

Les entretoises s'assemblent, sur 1^m,20 de hauteur, à la partie inférieure des montants verticaux des deux grandes poutres; réunies à ces montants, elles

constituent des membrures analogues à celles des bateaux, à cette seule différence près qu'elles sont placées à l'extérieur au lieu de l'être à l'intérieur.

Chemins de halage. — Les deux chemins de halage, de 2^m,40 de largeur chacun, sont empierrés et placés en encorbellement de chaque côté de la cuvette, sur de petites voûtes en briques qui sont portées par de grandes consoles extérieures fixées sur les montants verticaux des grandes poutres.

Toutes les consoles sont reliées entre elles, à leurs têtes, par une petite poutre longitudinale de 0^m,50 de hauteur, au-dessus de laquelle s'élève le garde-corps; elles sont, en outre, énergiquement contreventées, en plan, par un système de croisillons en fer méplat placés sous les traverses horizontales qui forment leur partie supérieure et servent en même temps de retombées aux petites voûtes.

Ces petites voûtes sont surbaissées au dixième, ont une portée de 1^m,40 et une épaisseur de 0^m,11, non compris la chape en asphalte de 0^m,012 qui les recouvre. L'empierrement placé au-dessus est en béton maigre et est encaissé entre deux caniveaux en pierre de taille, percés de distance en distance de trous qui traversent les voûtes et laissent écouler les eaux pluviales.

Dispositions accessoires. — Des poutres flottantes en sapin règnent tout le long de chacune des deux parois de la cuvette et les mettent à l'abri du contact des bateaux; des tampons en liège et cordages sont, d'ailleurs, interposés entre les parois et les poutres pour amortir les chocs.

Les grandes poutres de la cuvette s'élèvent à 0^m,25 au-dessus des chemins de halage et forment ainsi banquette de sûreté; cette banquette est munie : 1° du côté de la cuvette, d'une lisse en fer rond qui éloigne les traits des bateaux des angles vifs, sur lesquels ils pourraient se couper; 2° du côté du chemin de halage, d'un heurtoir en bois qui arrête le pied des chevaux et les empêche de se blesser contre les fers.

Pour isoler la bache du rstant du canal et pour la vider afin de la visiter, la repeindre et la réparer, on a ménagé dans les maçonneries des culées : 1° des rainures à poutrelles; 2° un petit aqueduc de vidange muni d'une vanne.

Forme générale des fers. — Les grandes poutres, leurs entretoises et leurs montants, les longrines, les petites poutres de tête des trottoirs et les différents membres des consoles ont tous la forme d'un double T.

Les montants verticaux des grandes poutres, les longrines et les traverses horizontales supérieures des consoles, sont des fers spéciaux du commerce, qui sortent des laminoirs avec leur forme complète; les autres pièces sont composées au moyen de cornières qui réunissent leur âme avec leurs tablettes supérieure et inférieure.

Les tablettes ne se composent, en général, que d'une seule feuille de tôle de 0^m,01 d'épaisseur; mais elles sont renforcées par une ou plusieurs feuilles additionnelles dans les parties les plus fatiguées, de manière que la résistance soit partout proportionnelle à la fatigue.

Montage et mise en place. — Toutes les pièces de la partie métallique du pont-canal de l'Albe ont été préparées à Paris, dans les ateliers de l'entrepreneur, et expédiées sur les lieux par chemin de fer.

La bache entière, sauf ses consoles extérieures, a été assemblée et montée sur un terre-plein aux abords du pont; sa mise en place a été effectuée en faisant avancer tout l'ensemble, d'une seule pièce, sur des galets fixes en fonte,

mus par des leviers manœuvrés par cinquante hommes; l'opération a duré deux jours.

Charges et travail des fers. — Le poids de la superstructure métallique, de sa charge permanente et de sa surcharge, se compose ainsi qu'il suit :

DÉSIGNATION.	POIDS	
	TOTAUX.	PAR MÈTRE COURANT.
CHARGE PERMANENTE.		
	kil.	kil.
Fers de toute nature.	163.740	5.440
Maçonneries et empierrement des chemins de halage.	152.520	3.200
Eau sur 1 ^m ,80 de hauteur.	582.650	12.240
SURCHARGE.		
Sur les chemins de halage, à raison de 200 kilogrammes par mètre carré.	58.080	800
Dans la cuvette, pour mémoire, attendu que les bateaux, déplaçant un poids d'eau exactement égal au leur, ne donnent lieu à aucune surcharge.	»	»
Totaux.	956.770	19.680

Sous ces charges, les efforts maximum supportés par les fers sont, par millimètre carré :

1° De 4 kilogrammes dans les pièces travaillant à la flexion, comme les grandes poutres, les entretoises, etc. ;

2° De 4^k,50 dans celles travaillant à l'écrasement, telles que les montants verticaux situés sur les piles; montants dont, au reste, l'espacement normal de 1^m,40 a été beaucoup réduit au-dessus de ces appuis, et n'est que de 0^m,70 sur les culées et de 0^m,45 sur les piles.

Les conditions dans lesquelles s'opère le travail de toutes les pièces sont, d'ailleurs, des plus favorables et présentent les plus grandes garanties de sécurité. En effet, si l'on fait abstraction du poids des chevaux haleurs qui est tout à fait négligeable devant la masse totale de la construction, il ne reste qu'une charge morte, toujours invariable de position et d'intensité, sous laquelle les molécules du fer restent constamment en repos dans un état fixe et invariable d'équilibre, au lieu d'être soumises aux alternatives brusques de fatigue et aux mouvements incessants dus aux variations qu'une charge roulante produit dans l'intensité et surtout dans le sens des flexions.

Flexion des principales pièces. — Après l'achèvement des maçonneries des chemins de halage et la mise en eau de la cuvette, c'est-à-dire lorsque la charge a été complète, on a constaté, dans les principales pièces, les flèches ci-après, savoir :

Grandes poutres	}	travée centrale.	0 ^m ,005
		travée de rive.	0 ^m ,005
Grandes entretoises.			0 ^m ,0025

Les parois latérales de la cuvette se sont rapprochées l'une de l'autre, à leur

partie supérieure, de 0^m,002 ; la partie supérieure de chacune d'elles s'est ainsi déplacée de 0^m,001.

Ce rapprochement des bords supérieurs des parois latérales de la cuvette est la résultante de deux effets de renversement qui tendent à se produire en sens contraire, l'un vers l'intérieur par suite de la flexion des entretoises, l'autre vers l'extérieur par suite de la pression latérale de l'eau et surtout du poids des trottoirs en encorbellement.

Des expériences préalables, faites à l'usine sur plusieurs membrures de la cuvette, pour constater l'influence de chacune de ces deux causes sur le déplacement de l'extrémité supérieure des montants verticaux de ces membrures, avaient accusé les résultats ci-après :

Écart vers l'intérieur.	0 ^m ,0055
Écart vers l'extérieur.	0 ^m ,0025
	0 ^m ,0010
Différence pareille au déplacement observé.	0 ^m ,0010

L'encorbellement des chemins de halage, loin d'être nuisible à la stabilité des grandes poutres, lui est ainsi favorable.

Dépenses. — La dépense totale du pont-canal se compose ainsi qu'il suit :

Maçonnerie et travaux accessoires des abords.	50,000 fr.
Superstructure métallique.	98,000
	148,000 fr.
Total.	148,000 fr.

La superstructure métallique, présentant 47^m,60 de longueur, revient ainsi à 2060 francs par mètre courant.

Elle avait été adjudgée avec un prix de 0^t,65 par kilogramme pour les fers et de 0^t,45 pour les fontes. L'adjudication a amené un rabais de 22 p. 100, ce qui a réduit le prix du fer à 0^t,51 et celui de la fonte à 0^t,55.

Le pont-canal de l'Albe a été projeté et établi sous la direction et d'après les indications spéciales de M. Bénard, ingénieur en chef, par M. Chigot, ingénieur ordinaire.

M. Rigolet était entrepreneur de la partie métallique.

Systemes exceptionnels au passage des canaux et des rivières. — On a quelquefois reculé devant la construction trop coûteuse d'un pont-canal ; ainsi, le canal latéral à la Loire et le canal de Briare, qui réunit la Loire à la Seine, débouchent dans la Loire près la ville de Briare, à peu de distance l'un de l'autre. Le canal latéral se termine en Loire à l'écluse de Châtillon, rive gauche, et le canal de Briare à l'écluse d'Ourson, rive droite, en aval de la première. Les bateaux, qui quittent l'écluse de Châtillon, se laissent aller au fil de l'eau jusqu'à ce qu'ils aient dépassé le chenal du canal de Briare ; ils s'arrêtent alors, et on les remonte dans le chenal au moyen d'un câble.

L'opération inverse s'effectue dans l'autre sens. C'est toujours une opération pénible souvent dangereuse, et quelquefois impossible en étiage.

D'une manière générale, les canaux débouchent obliquement dans les fleuves, et l'embouchure est tournée vers l'aval ; c'est la disposition la plus commode pour l'entrée et la sortie des bateaux, surtout sur les rivières à courant un peu

rapide. Il arrive que les atterrissements rendent peu à peu les chenaux d'accès impraticables; ils exigent alors un entretien et des dragages permanents.

Autant que possible, on doit faire déboucher le canal dans une rive concave, afin d'éviter les ensablements et d'assurer un bon mouillage.

Lorsque le courant de la rivière est faible, l'embouquement des bateaux dans les écluses est facile; il s'opère même assez rapidement si l'on a construit à l'embouchure des musoirs arrondis et des estacades en charpente pour le halage.

Lorsque le courant est rapide, l'embouquement offre des dangers et des difficultés; le bateau est oblique au courant et tend à tourner sur lui-même; s'il est à moitié engagé dans le chenal, il porte sur la rive aval et peut s'échouer, ou s'arc-bouter, ou causer des avaries aux ouvrages. Pour parer à cet effet, au canal de Briare, on était forcé de recourir à un câble spécial fixé à l'arrière du bateau, et venant s'enrouler sur un cabestan de la rive.

Au canal de Beaucaire, le chenal qui précède l'écluse est courbe et vient se raccorder tangentiellement avec le quai d'amont qui borde le Rhône; le quai d'aval est en arrière du quai d'amont d'au moins une largeur de bateau, de sorte que l'extrémité de ce quai d'amont forme musoir, et protège les bateaux qui viennent ranger le quai d'aval.

Le canal Saint-Maur débouche normalement dans la Marne, mais entre la Marne et l'écluse du canal il y a un long et large chenal.

Lorsque l'embouchure est dirigée vers l'amont, les bateaux risquent beaucoup de la manquer, à moins qu'elle ne soit limitée à l'aval par un musoir saillant ou par une estacade. Il est vrai que ces ouvrages saillants déterminent des ensablements qui exigent toujours une certaine dépense en dragages.

Au passage de certains torrents, qui roulent lors des crues des eaux boueuses et chargées de gravier, on s'est vu quelquefois dans l'impossibilité d'établir des aqueducs ordinaires; des siphons n'auraient pas suffi et se seraient vite engorgés; la hauteur manquait pour établir un pont-canal. Ces difficultés, qui probablement seraient surmontées aujourd'hui, ont inspiré l'idée de recourir à divers systèmes.

Le plus connu est celui des écluses carrées, dont deux portes ferment le canal, tandis que deux autres portes, placées sur un axe perpendiculaire à celui du canal, ferment le lit du torrent. Ces dernières sont fermées en temps ordinaire, et les deux premières ouvertes, de sorte que le canal fonctionne librement; en temps de crue, on ferme les portes de garde du canal, et on ouvre les portes du torrent, dont les eaux passent alors librement. Le grave inconvénient d'un pareil système est que la crue du torrent peut durer plusieurs jours, et qu'alors la navigation est complètement interrompue.

Pour parer à cet inconvénient, il faudrait creuser au torrent deux lits différents qu'il parcourrait alternativement et qui couperaient le canal chacun par une écluse carrée. Les bateaux ayant passé la première écluse et se présentant à la seconde où s'écoulent les eaux de l'affluent, on détourne les eaux et on les reporte dans le premier bras et dans la première écluse carrée, de sorte que la seconde se trouve libre et peut être livrée aux bateaux. Au canal du Midi, on a procédé autrement pour le passage du Libron, ruisseau torrentiel intermittent; les eaux de cet affluent passent sur le canal dans une bêche en tôle portée sur des roulettes en fonte et des rails. En temps ordinaire, le Libron est à sec, et les bèches sont remisées dans une chambre en arrière de la paroi du canal;

en temps de crue, au contraire, la bêche barre le canal et livre le passage aux eaux torrentielles. On a creusé pour le canal deux lits distincts et établi deux bèches qui fonctionnent alternativement, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut, de sorte que la circulation des bateaux n'est pas interrompue.

Il va sans dire qu'il faut éviter les ouvrages de ce genre qui peuvent être ingénieux, mais qui sont toujours mal commodes.

CHAPITRE IV

DIGUES ET MURS DE RÉSERVOIRS

Généralités. — Dans ces derniers temps, la question de l'aménagement des eaux a fait de grands progrès. Si l'on met le volume des eaux utilisé par l'agriculture et par l'industrie en regard du volume que les fleuves entraînent à la mer en pure perte, on est effrayé de voir à quelle fraction minime du total correspond le volume utile.

Et cependant, une agriculture intensive réclame sans cesse des quantités d'eau croissantes; la pénurie et la cherté du combustible rendent de jour en jour plus précieuse la puissance naturelle des chutes d'eau, puissance créée par le soleil, qui a pompé l'eau de la mer pour la projeter en pluie et en neige sur les sommets de nos montagnes; les besoins des populations réclament sans cesse des distributions d'eau plus abondantes; par suite de causes diverses, nos rivières ont perdu de leur ancienne abondance, et leur débit d'été va sans cesse s'affaiblissant; la régularisation du courant des rivières offre de très-grands avantages à la navigation, à l'industrie, à la pisciculture, et peut, dans une certaine mesure, atténuer le fléau des inondations.

La création de nombreux et vastes réservoirs dans les parties hautes de notre territoire est donc une question qui s'impose de plus en plus; elle s'impose surtout dans les pays du Midi, comme l'Espagne et l'Algérie, où la pénurie des eaux d'été se fait vivement sentir. Dans notre *Traité des eaux en agriculture*, nous avons étudié les vieux barrages d'Espagne, restes du génie des Maures, et nous avons parlé de ceux qui s'élèvent et qui fonctionnent déjà dans notre belle colonie d'Afrique.

Les murs de réservoirs se font en terre, ou en maçonnerie; nous ne parlons pas des barrages mixtes qui sont à proscrire absolument.

Les barrages en terre, malgré la perfection avec laquelle on les exécute maintenant, ne conviennent que pour des retenues de faible hauteur, 12 mètres environ, et de faible capacité. Ils sont sujets à de telles causes de rupture et peuvent entraîner de tels désastres, qu'on doit les redouter.

Toutes les fois donc que la hauteur est importante et dépasse 12 à 15 mètres, si l'on peut asseoir le mur sur un rocher solide, c'est aux barrages en maçonnerie qu'il faut recourir. Nous allons tout à l'heure indiquer les moyens de

calculer les profils à adopter pour les diverses hauteurs ; mais il ne faut pas oublier que la rupture d'un grand réservoir est un fléau épouvantable, que la rupture du réservoir de Lorca a fait périr 600 personnes, que le flot échappé du barrage de Sheffield, après sa rupture, a rasé de nombreuses maisons et en a entraîné les débris avec leurs habitants. En fait de réservoirs, toute hardiesse est donc condamnable.

1° THÉORIE DES MURS DE RÉSERVOIRS

Répartition des pressions dans un massif à sections horizontales rectangulaires. — Considérons, figure 7, planche LVIII, un massif de maçonnerie, un mur, par exemple, dont la section transversale par un plan vertical est ABCD, et dont la base est représentée en plan par le rectangle $mnpq$; sur la médiane de ce rectangle agit une pression verticale P, appliquée en E. Cette pression se répartit inégalement sur les divers points de la base, et il est important de connaître la loi de répartition.

Cette loi, nous en avons, par une méthode simple, établi les formules à la page 109 de notre *Traité des ponts en maçonnerie*, auquel le lecteur voudra bien se reporter.

Supposons la longueur mn du massif égale à l'unité, désignons par l sa largeur AB à la base, et u la distance BE du point d'application de la pression P à l'arête extérieure B du prisme.

La pression élémentaire, au point p , c'est-à-dire la pression rapportée au mètre carré, est donnée par l'une des formules :

$$(1) \quad p = 2 \left(2 - \frac{5u}{l} \right) \frac{P}{l}$$

$$(2) \quad p = \frac{2P}{3u}$$

suivant que u est supérieur ou inférieur à $\frac{1}{3} l$.

Les formules de la page 109 de notre *Traité des ponts en maçonnerie* ne sont pas sous cette forme ; mais il est facile de les y ramener en adoptant, au lieu des notations qui s'y trouvent, nos notations nouvelles. Ces dernières sont celles que l'on trouve dans les principaux mémoires publiés sur la théorie des murs de réservoirs.

La discussion des formules précédentes donne les résultats suivants :

Lorsque le point E est au milieu de la base, la pression est uniformément répartie et la pression élémentaire, au point B comme ailleurs, est égale à $\frac{P}{l}$.

A mesure que E s'écarte du milieu de la base pour se rapprocher de B, la pression sur cette arête augmente, tandis que la pression sur l'arête A diminue.

Lorsque BE ou u est égale à $\left(\frac{1}{3} l \right)$, la pression sur P est égale à $\frac{2P}{l}$, c'est-à-dire au double de la valeur qu'elle avait prise dans le cas de la répartition

uniforme. La pression élémentaire va toujours en diminuant proportionnellement aux distances de B en A; elle est nulle en A.

BE devenant moindre que $\frac{1}{3}l$, c'est la formule (2) qu'il faut appliquer; la pression sur l'arête B augmente donc sans cesse à mesure que le point d'application E se rapproche de cette arête. L'arête opposée A serait soumise à des pressions négatives, c'est-à-dire à des tensions; mais nous supposons le massif simplement posé sur sa base BA et nous ne tenons pas compte de la cohésion; il ne saurait donc y avoir de tension en A; par conséquent, il y a à partir de A une certaine zone dénuée de pressions, zone dont l'étendue augmente à mesure que E se rapproche de B.

La pression P se condense donc de plus en plus sur l'arête B; elle se répartit sur une zone de moins en moins large de la base, et, lorsque le point d'application de la pression arrive sur l'arête même, il en résulte sur cette arête une pression élémentaire infinie comme le montre la formule (2).

Si le point d'application de la pression, partant du centre de la base, s'était rapproché progressivement de l'arête intérieure A au lieu d'aller vers l'arête extérieure B, les phénomènes inverses se seraient produits; la pression élémentaire, d'abord uniformément répartie, se serait accrue jusqu'à devenir infinie en A, pendant qu'elle diminuait jusqu'à s'annuler sur l'arête B et sur une zone croissant à partir de cette arête.

Ce qu'il importe de connaître dans chaque cas, ce sont les pressions maxima, et les formules (1) et (2) nous suffisent pour cela.

Ce sont elles qui nous serviront de guides dans les calculs qui vont suivre.

Voici les principaux mémoires présentés par les ingénieurs sur la détermination des murs de réservoir :

Mémoire de M. de Sazilly, <i>Annales des ponts et chaussées de 1855</i> ;			
Mémoire de M. Delocre,	—	—	1866;
Mémoire de M. Graëff,	—	—	—
Ouvrage de M. Krantz, publié en 1870;			
Mémoire de M. Bouvier, <i>Annales des ponts et chaussées de 1875</i> .			

L'établissement des équations différentielles de la résistance des murs de réservoirs n'offre pas de difficulté; mais l'intégration de ces équations différentielles n'a pas été faite; elles sont donc sans intérêt au point de vue pratique; on les trouvera dans le mémoire de M. l'ingénieur Delocre. Ici, nous aurons recours à la seule méthode qui nous paraisse réellement pratique et accessible à tous, méthode basée sur l'emploi combiné du calcul et des constructions graphiques.

Mais, avant d'entrer au vif de la question, il convient d'abord de présenter quelques observations générales destinées à préparer la solution du problème.

Théorèmes.— 1° *Étant donné un profil de mur à section constante, si l'on prend une partie de section du côté gauche pour la reporter du côté droit, la pression élémentaire augmente sur l'arête de gauche et diminue sur l'arête de droite.*

Considérons (fig. 8, pl. LVIII) un mur dont la section verticale est un triangle *bac*. Ce mur est soumis à la seule influence de son poids P, dont le point d'application se trouve sur la médiane *am*, au tiers de cette médiane à partir de la base; la verticale P passant à gauche de la médiane, c'est sur l'arête

b que se fait sentir la pression élémentaire maxima, et sur l'arête c que se fait sentir la pression minima. Retranchons à gauche le triangle abb' et ajoutons à droite le triangle égal acc' ; les deux bases sont égales, le poids est le même, le centre de gravité se trouve sur la médiane am' ; donc le pied s'est déplacé d'une longueur mm' égale à cc' . Le déplacement du poids P vers la droite a donc été moindre que le déplacement de l'arête c . Toutes choses restant égales d'ailleurs, l'arête b s'est rapprochée et l'arête c s'est éloignée de la force verticale P ; la pression a donc augmenté sur l'arête de gauche et diminué sur l'arête de droite, ce que nous voulions démontrer.

2° *Étant donné un mur $abcd$, si l'on ajoute sur un parement une certaine quantité de maçonnerie dmb , on augmente la pression sur l'arête correspondante.*

En effet (fig. 9, pl. LVIII), pour avoir la pression totale, il faut composer le poids P du massif primitif avec le poids p du massif additionnel. La résultante ($P + p$) de ces deux forces parallèles est située entre elles; donc, non-seulement la pression totale a augmenté, mais encore elle s'est rapprochée de l'arête b : double raison pour que la pression élémentaire sur cette arête ait augmenté. La pression sur l'arête opposée a aura augmenté ou diminué suivant les circonstances, car la pression totale a augmenté, mais en revanche elle s'est éloignée de l'arête a .

3° *Étant donné un mur $abcd$, si l'on retranche sur un parement une certaine quantité de maçonnerie dnb , on diminue la pression sur l'arête correspondante.*

En effet (fig. 10, pl. LVIII), pour avoir la pression totale, il faut composer le poids P du massif primitif avec une force égale et contraire au poids p du massif additionnel. La résultante ($P - p$) de ces deux forces parallèles est située en dehors d'elles et du côté de la plus grande; donc, non-seulement la pression totale a diminué, mais encore elle s'est éloignée de l'arête b : double raison pour que la pression élémentaire sur cette arête ait diminué. La pression élémentaire sur l'autre arête a aura augmenté ou diminué suivant les cas, car la pression totale a diminué, mais en revanche elle s'est rapprochée de l'arête a .

Ce raisonnement nous conduit à un résultat qui paraît étrange au premier abord et qu'il importe de bien remarquer, c'est qu'en retranchant une partie d'un profil, on peut dans certains cas diminuer les pressions élémentaires sur les deux arêtes, ou la diminuer sur l'une et la maintenir constante sur l'autre, ou la diminuer sur l'une et l'augmenter sur l'autre. Une opération de ce genre permet donc de régler la répartition des pressions et d'arriver à une répartition uniforme en amenant la résultante des pressions sur le milieu de la base.

4° *Le théorème 1° est encore vrai lorsque le massif est soumis non-seulement à son poids, mais encore à une force horizontale constante.*

C'est ce que montre la figure 11 de la planche LVIII. Le poids P du massif bac se compose avec la force horizontale Q , et donne une résultante R qui rencontre la base du massif au point d ; là, cette force R peut être remplacée par ses deux composantes P et Q , la composante horizontale est équilibrée par le frottement pourvu que le poids du massif soit assez considérable, c'est la composante verticale P qui seule intervient dans la détermination des pressions transmises au sol. La pression élémentaire sur l'arête c dépend de la distance dc qui sépare de cette arête le point d'application de la résultante.

Lorsque le massif bac est remplacé par le massif de même surface $b'ac'$, la composante verticale P se déplace vers la droite d'une quantité moindre que cc' ; la résultante R' , parallèle à R , se déplace vers la droite de la même quantité que P , et le point d' où elle coupe la base est par conséquent plus éloigné de

c' que d ne l'était de c . Ainsi, la pression a diminué sur l'arête de droite et augmenté sur l'arête de gauche.

La seconde et la troisième proposition ne sont plus toujours vraies lorsqu'une force horizontale constante s'ajoute au poids du massif. Mais ce qui reste vrai, c'est qu'en ajoutant ou en retranchant une partie du massif, on agit sur la répartition des pressions et que par ce moyen on peut s'approcher autant qu'on le veut d'une répartition uniforme.

Densité de la maçonnerie. — Un des principaux éléments des calculs de résistance d'un mur est le poids même de ce mur, c'est-à-dire le produit de la section par le poids du mètre cube ou densité de la maçonnerie.

Il est donc important de connaître la densité de la maçonnerie. Cette densité est évidemment variable avec la nature des moellons et des mortiers dont on se sert.

MM. Graëff, de Sazilly et Delocre ont adopté dans leurs mémoires le poids de 2000 kilogrammes au mètre cube.

Ce poids est trop faible. Voici comment M. Krantz établit le poids du mètre cube de maçonnerie bien faite en moellons durs de calcaire ou de granit :

Pour un volume réel de 0 ^m ,67 de moellons à 2500 kilogr. le mètre cube. . .	1675 kil.
Pour un volume réel de 0 ^m ,85 de mortier mouillé à 1900 kil. le mètre cube. . .	627
Total.	2302

Soit en nombre rond 2500 kilogrammes.

« En adoptant presque partout le chiffre de 2000 kilogrammes, plus commode, il est vrai, dans les calculs, les ingénieurs me paraissent, dit M. Krantz, avoir indûment allégé le poids propre de la construction. »

D'après M. l'ingénieur Pochet, qui a dirigé les travaux du barrage de l'Habra, le chiffre de 2500 kilogrammes serait trop élevé pour de la maçonnerie de moellons calcaires et on devrait adopter pour valeur de la densité 2450 kilogrammes.

Les expériences de M. Bouvier sur de la maçonnerie en moellons de granit l'ont conduit à adopter la densité de 2560 kilogrammes.

Charge limite à imposer au sol et aux maçonneries. — Les barrages en maçonnerie sont toujours fondés sur le rocher et, généralement, sur un rocher semblable à celui dont on extrait les moellons. Il semble donc qu'on pourrait prendre comme base des calculs la résistance même des moellons. Mais il n'en est pas ainsi ; les mortiers ne possèdent jamais la résistance des moellons, ou, du moins, si certains mortiers arrivent à atteindre et à dépasser la résistance de la pierre, ils n'y arrivent qu'après un certain temps, qui peut être de plusieurs mois et même de plusieurs années.

La résistance des mortiers a été souvent éprouvée ; malheureusement, les mortiers sont rarement comparables, et les expériences de résistance se font toujours sur de petits blocs isolés, c'est-à-dire dans des conditions toutes différentes de celles que présentent de larges massifs.

D'après Vicat et divers expérimentateurs, les mortiers de chaux éminemment hydrauliques, telles que la chaux du Theil, ne se rompent que sous un effort variant de 140 à 180 kilogrammes, quand ces mortiers sont faits depuis quelques mois.

En adoptant le coefficient de sécurité $\frac{1}{10}$, on pourrait donc, si l'on était

certain de la parfaite hydraulicité des chaux employées, imposer aux maçonneries une charge permanente maxima de 14 kilogrammes par centimètre carré.

Bien que cette pression soit réalisée dans certains barrages anciens, à l'insu des constructeurs il est vrai, les ingénieurs n'ont pas encore osé l'adopter comme base de leurs calculs.

Ainsi le barrage d'Almanza offre des pressions de 14 kilogrammes par centimètre carré, celui de Gros-Bois des pressions de 10^k,4. Cependant, pour calculer le barrage du Furens, on s'est arrêté à la limite 6^k,5 ; au barrage du Ban, on est allé à 8 kilogrammes; peut-être arrivera-t-on bientôt à plus de hardiesse.

Cependant, il faut remarquer qu'un excès de hardiesse présente de graves inconvénients et de faibles avantages.

La réduction du cube de maçonnerie n'est pas proportionnelle à la variation des pressions limites ; elle croît incomparablement moins vite que les pressions n'augmentent.

Exemple : Un barrage de 50 mètres de hauteur exige 985 mètres cubes de maçonnerie par mètre courant, lorsqu'on admet la pression limite de 6 kilogrammes par centimètre carré ; il n'exige que 750 mètres cubes lorsqu'on admet la limite de 14 kilogrammes. C'est une différence de 254 mètres cubes, ou une économie d'environ $\frac{1}{4}$ sur le profil primitif, alors que la pression maxima a plus que doublé.

Si l'on réfléchit que mille causes imprévues peuvent compromettre la solidité de l'ouvrage, que le barrage peut être accidentellement surmonté par les eaux ou soumis au choc des glaces, que les maçonneries peuvent présenter un point faible, si l'on songe, en outre, qu'une rupture peut entraîner les plus grandes calamités, raser des villages, faire périr les habitants, ruiner un pays tout entier, on se dira qu'il vaut mieux exécuter une œuvre moins hardie et laisser moins de prise aux chances de rupture.

L'ingénieur agira donc sagement en se renfermant dans des pressions limites de 6 à 8 kilogrammes, parce que ces pressions sont consacrées par l'expérience.

Hauteur maxima d'un mur à parements verticaux soumis à l'action de la pesanteur seule. — Considérons un mur de hauteur indéfinie compris entre deux parements verticaux parallèles.

Si δ est la densité ou poids du mètre cube de maçonnerie, chaque mètre de hauteur du mur transmet sur un mètre carré de la base une pression δ , et, si λ est la hauteur du mur, la pression transmise sur 1 mètre carré de la base sera $\lambda\delta$.

Pour que le mur inspire toute sécurité, il faut que la pression R par mètre carré ne dépasse pas la limite que nous avons fixée au paragraphe précédent.

La hauteur maxima du mur se déduira donc de l'équation :

$$\lambda \delta = R.$$

Pour des pressions de 6, 8 ou 14 kilogrammes par centimètre carré, R est égal à 60 000, 80 000 ou 140 000 kilogrammes.

Si la densité de la maçonnerie est de 2000 kilogrammes, la hauteur maxima sera de 50, 40 ou 70 mètres.

Si la densité de la maçonnerie est de 2500 kilogrammes, la hauteur maxima sera de 26, 55 ou 61 mètres.

Dans les calculs suivants, nous désignerons toujours par λ la hauteur maxima correspondant à la pression limite R ; nous adopterons pour valeur de cette

pression limite 60 000 kilogrammes par mètre carré et pour densité de la maçonnerie 2500 kilogrammes.

Profil d'égal résistance d'un mur soumis à l'action seule de son poids.

— Considérons un mur isolé soumis à l'action seule de son poids et cherchons à déterminer le profil d'égal résistance, c'est-à-dire le profil tel qu'en tout point du mur la pression élémentaire soit précisément égale à la limite R . Dans un pareil profil, la matière sera aussi bien utilisée que possible; toutes les parties travailleront à la pression limite; on aura donc réalisé le profil le plus économique sans rien sacrifier de la stabilité, ce qui est le desideratum de l'art du constructeur.

Le profil théorique d'égal résistance commence évidemment par une largeur nulle, de plus il est symétrique par rapport à la verticale passant par son sommet; il a donc la forme générale ABC représentée par la figure 15, planche LVIII.

Cherchons à déterminer la courbe d'un des parements AC; à cet effet prenons pour axes de coordonnées l'horizontale et la verticale du sommet, et considérons deux sections voisines mn et rs .

Lorsqu'on passe de l'une à l'autre, l'accroissement de pression est égal au poids du prisme $murt$ (il va sans dire que nos calculs s'appliquent toujours à un mur de 1 mètre de longueur); le poids de ce prisme est égal à $(\delta.y.dx)$.

L'accroissement de la surface de base est représenté par la longueur ts ou dy , et cet accroissement doit être tel que, multiplié par la pression limite R , il donne un résultat égal à l'accroissement de pression. D'où l'équation différentielle :

$$\delta.y.dx = R.dy.$$

En remarquant que la quantité $\left(\frac{R}{\delta}\right)$ est égale à λ , hauteur limite d'un mur à parements verticaux déterminée au paragraphe précédent, l'équation précédente devient :

$$dx = \lambda \cdot \frac{dy}{y},$$

qu'il faut intégrer.

L'intégrale de $\left(\frac{dy}{y}\right)$ est égale au logarithme népérien de y ou (Ly) .

L'équation de la courbe AC est donc :

$$x = \lambda.L.y.$$

Pour faciliter la construction de cette courbe, qui se présente quelquefois dans l'art des constructions, nous donnons ci-après le tableau des logarithmes népériens de 1 à 60 :

TABLE DES LOGARITHMES NÉPÉRIENS DE 1 A 60

NOMBRES.	LOGARITHMES.	NOMBRES.	LOGARITHMES.	NOMBRES.	LOGARITHMES.	NOMBRES.	LOGARITHMES.
1	0,00000	16	2,77258	51	5,45598	46	5,82864
2	0,69514	17	2,85521	52	5,46575	47	5,85014
3	1,09861	18	2,89057	53	5,49650	48	5,87120
4	1,38629	19	2,91445	54	5,52656	49	5,89182
5	1,60945	20	2,99575	55	5,55554	50	5,91202
6	1,79175	21	3,04432	56	5,58551	51	5,95182
7	1,94591	22	3,09104	57	5,61091	52	5,95124
8	2,07944	23	3,15349	58	5,65738	53	5,97029
9	2,19722	24	3,17805	59	5,66536	54	5,98898
10	2,50258	25	3,21887	40	5,68887	55	4,00755
11	2,59789	26	3,25809	41	5,71557	56	4,02555
12	2,48490	27	3,29585	42	5,75766	57	4,04505
13	2,56494	28	3,35220	43	5,76120	58	4,06044
14	2,65905	29	3,36729	44	3,78418	59	4,07755
15	2,70805	30	3,40119	45	5,80666	60	4,09454

Pour des valeurs de y égales à 5, 10, 20, 30, 40, 50 mètres, les valeurs de x sont : 41^m,86, 59^m,80, 78^m,00, 88^m,40, 95^m,94, 101^m,40, en prenant pour la valeur de λ le nombre 26 établi au paragraphe précédent.

Ces résultats donnent pour le profil théorique la forme présentée par la figure 15, planche LVIII.

Au lieu de ce profil, si on adoptait le triangle BAC, la pression élémentaire serait de 11^{kg},5 par centimètre carré de la base, au lieu de 6 kilogrammes.

Le mur, bien que beaucoup plus massif, serait donc dans de beaucoup moins bonnes conditions de stabilité.

Cet exemple, qui, du reste, est sans grande application pratique, a surtout pour but de montrer l'influence qu'exerce la répartition de la matière sur la répartition des pressions.

Si le mur avait une épaisseur e à son sommet et non une épaisseur nulle, l'intégration de l'équation différentielle conduirait à la formule :

$$x = \lambda (L.y - L.e) = \lambda L \frac{y}{e} = 2,50258 \cdot \lambda \cdot \log \frac{y}{e},$$

qui n'offrirait pas plus de difficultés de calcul que la précédente.

Profil d'égalé résistance d'un mur soumis à la poussée de l'eau sur une de ses faces. — Nous avons montré, au commencement de cette étude, que, lorsqu'une base rectangulaire de 1 mètre de largeur était soumise, figure 7, planche LVIII, à une pression normale P appliquée à une distance BE ou u de l'arête B , la pression p sur cette arête était donnée par les formules :

$$(1) \quad p = 2 \left(2 - \frac{5u}{l} \right) \frac{P}{l} \quad \text{pour } u > \frac{1}{3}l$$

$$(2) \quad p = \frac{2}{3} \frac{P}{u} \quad \text{pour } u < \frac{1}{3}l.$$

Si l'on ne veut pas que la pression p dépasse la limite de sécurité R , on remplacera p par R dans les formules ci-dessus qui deviendront des relations de condition entre P , u et l .

Mais, nous pouvons substituer à R le produit $\delta\lambda$ de la densité, ou poids du mètre cube de la maçonnerie, par la hauteur maxima d'un mur à parements verticaux pour lequel la pression à la base serait précisément égale à R . Nous avons, du reste, examiné les valeurs de δ et de λ à un des paragraphes précédents.

Les relations de condition (1) et (2) se mettent donc sous la forme :

$$(3) \quad 2 \left(2 - \frac{5u}{l} \right) \frac{P}{\delta.l} = \lambda \quad \text{pour } u > \frac{1}{3}l$$

$$(4) \quad \frac{2}{3} \frac{P}{\delta.u} = \lambda \quad \text{pour } u < \frac{1}{3}l.$$

Ce sont ces deux expressions que l'on emploie dans les calculs de la résistance des murs de réservoir.

En ce moment, nous recherchons le profil d'égalé résistance d'un mur soumis à la poussée de l'eau sur une de ses faces. Lorsqu'un tel profil est réalisé, le point d'application de la résultante se rapproche du milieu de la base et u est supérieur à $\left(\frac{l}{3}\right)$; c'est donc la formule (3) que nous allons mettre en œuvre dans nos calculs.

Considérons un mur à profil triangulaire CAB pressé à gauche par l'eau, sur sa hauteur h , figure 12, planche LVIII, et cherchons à déterminer la base l , de manière qu'elle soit minima, tout en satisfaisant à la condition (3); si cette largeur minima est réalisée, le mur aura le moindre cube possible de maçonnerie sans que, cependant, les pressions à la base dépassent la limite de sécurité.

Tout d'abord, il est évident que le talus d'aval AB doit être beaucoup plus incliné que le talus d'amont AC , afin que le mur résiste bien au renversement; à défaut de l'évidence, cela résulte du quatrième théorème démontré plus haut à la page 346.

Ainsi, le talus AC se rapproche beaucoup plus de la verticale que ne le fait le talus d'aval.

Appelons :

l la largeur variable du triangle à la base;

h la hauteur fixe du mur et de l'eau;

m la tangente trigonométrique de l'angle ACB, nombre qui mesure l'inclinaison du talus d'amont sur l'horizontale;

π le poids du mètre cube d'eau, soit 1000 kilogrammes;

P le poids d'un mètre courant du mur; il est exprimé par le produit $\left(\frac{1}{2}\delta hl\right)$ de la section du triangle par le poids δ du mètre cube de maçonnerie.

L'eau exerce sur le mur une poussée horizontale $\left(\frac{\pi h^2}{2}\right)$ appliquée au tiers de la hauteur à partir de la base; c'est la force de renversement.

La force de résistance comprend deux poids: 1° le poids P du mur, appliqué sur la médiane AG, en un point F de cette médiane situé au tiers à partir de la base; 2° le poids Q du prisme liquide dont ACK est la section, et qui pèse sur le parement d'amont. Ce poids Q est appliqué au centre de gravité du triangle ACK, et la distance horizontale qui le sépare du poids P est, par raison géométrique, égale à $\frac{1}{3}l$.

Pour avoir la force de résistance totale, il faudrait composer Q avec P ; mais, comme le talus d'amont se rapproche de la verticale plus que le talus d'aval, la section du triangle ACK est beaucoup plus faible que la section du mur; de plus, la densité de l'eau n'est pas moitié de celle de la maçonnerie. Donc, le poids Q est faible par rapport à P , et nous pouvons le négliger dans un calcul approché, d'autant plus que ce poids a pour effet d'éloigner la résultante de l'arête B, et, par conséquent, augmente la sécurité.

Les forces en présence se réduisent donc à la poussée et au poids du mur, qui se rencontrent en F et dont la résultante FM coupe la base du triangle en E. Là, cette résultante peut se considérer comme décomposée en ses deux éléments, la poussée Q est équilibrée par le frottement, et c'est le poids P qui détermine les pressions normales.

Pour nous servir de la formule (5), il faut exprimer BE ou u en fonction des données de la question.

On a d'abord la relation :

$$\frac{ED}{DF} = \frac{\frac{\pi \cdot h^2}{2}}{\frac{\delta \cdot h \cdot l}{2}}$$

comme DF est le tiers de h , cette relation nous donne

$$ED = \frac{\pi \cdot h^2}{5 \cdot \delta \cdot l}.$$

Le point G est le milieu de la base. Dans le triangle rectangle CAH, CH est égal à $\left(\frac{h}{m}\right)$. Donc GH est égal à

$$\frac{l}{2} - \frac{h}{m}.$$

On a :

$$\frac{GD}{GH} = \frac{GF}{GA} \quad \text{ou} \quad GD = \frac{1}{3} GH = \frac{1}{3} \left(\frac{l}{2} - \frac{h}{m} \right)$$

$$u = BE = BG + GD - DE = \frac{l}{2} + \frac{1}{3} \left(\frac{l}{2} - \frac{h}{m} \right) - \frac{\pi h^2}{5 \cdot \delta \cdot l}$$

$$3u = 2l - \frac{h}{m} - \frac{\pi h^2}{\delta l}.$$

Substituant cette valeur de $3u$ dans l'équation (3), simplifiant et ordonnant par rapport à l , nous arrivons à l'équation du second degré en l :

$$\lambda \cdot \delta \cdot ml^2 - \delta h^2 l - m\pi h^3 = 0,$$

qui donne :

$$(5) \quad l = \frac{\delta h^2 + \sqrt{\delta^2 h^4 + 4m^2 \pi \cdot \lambda \cdot \delta \cdot h^3}}{2\lambda \delta m} = \frac{h^2}{2\lambda m} + \frac{1}{2\lambda \delta} \sqrt{\frac{\delta^2 h^4}{m^2} + 4\pi \cdot \lambda \cdot \delta \cdot h^3}.$$

Il y a bien deux valeurs de l , mais la seconde est négative et ne convient pas à la question.

La valeur positive est seule à considérer ; on voit que cette valeur diminue à mesure que m augmente, c'est-à-dire à mesure que le talus d'amont se rapproche de la verticale. Quand ce talus se confond avec la verticale, m est infini, et la largeur l à la base du profil est minima.

Ainsi la moindre largeur à la base, et, par conséquent, le cube minimum de la maçonnerie composant le mur, correspondent au cas où le massif est limité du côté de l'eau à un plan vertical.

Reste à indiquer la forme du parement d'aval.

Le parement d'amont étant vertical, c'est-à-dire m infini, la largeur l tirée de la formule (5) est donnée par :

$$(6) \quad l = \sqrt{\frac{\pi h^3}{\lambda \delta}} = h \sqrt{\frac{\pi h}{\lambda \cdot \delta}}.$$

Cette formule nous montre que le rapport de l à h va en croissant avec h ; le parement d'aval n'est donc pas limité à une ligne droite, mais à une courbe concave, telle que celle de la figure 13, planche LVIII.

Ainsi, pour satisfaire à la sécurité tout en employant le moins de maçonnerie possible, il faut adopter le profil CAB, terminé du côté de l'eau par un parement vertical et du côté opposé par un parement concave.

Tel est le résultat important auquel nous ont conduit les calculs précédents. La formule (6) nous enseigne encore que la largeur l varie en raison inverse de la racine carrée de la densité δ de la maçonnerie ; il y a donc avantage à employer des matériaux aussi légers que possible, à condition toutefois qu'ils seront encore assez lourds pour s'opposer au glissement des maçonneries sur leur base, et que leur résistance restera la même.

Cette considération est sans importance pratique, car on n'a pas le choix des matériaux à employer, et, presque toujours, les matériaux les plus résistants sont en même temps les plus lourds.

Hauteur maxima d'un mur à parements verticaux soumis à la poussée

de l'eau. — Considérons un mur à section verticale rectangulaire de largeur l , figure 14, planche LVIII, et cherchons à déterminer la hauteur maxima h , qu'on pourra donner à ce mur, sans que la pression élémentaire sur l'arête B dépasse la limite de sécurité R ou $\delta.\lambda$.

La poussée de l'eau $\left(\frac{\pi h^2}{2}\right)$, appliquée au tiers de la hauteur, se compose avec le poids P ou $\delta l.h$ appliqué au milieu de la base, et leur résultante coupe la base au point E.

La pression élémentaire sur l'arête B dépend de la distance BE, ou u , qu'il faut d'abord calculer.

DE et DF sont dans le même rapport que les deux forces composantes; donc

$$DE = \frac{\pi.h^2}{6.\delta.l} \quad \text{et} \quad u = BD - DE = \frac{l}{2} - \frac{\pi h^2}{6.\delta.l} = \frac{3\delta l^2 - \pi h^2}{6.\delta.l}.$$

La sécurité sera obtenue si les données de la question satisfont à la relation

$$(3) \quad 2\left(2 - \frac{3u}{l}\right) \frac{P}{\delta.l} = \lambda \quad \text{pour} \quad u > \frac{1}{3}l$$

ou à la relation

$$(4) \quad \frac{2}{3} \frac{P}{u\delta} = \lambda \quad \text{pour} \quad u < \frac{1}{3}l.$$

On aura donc, pour déterminer h , l'une ou l'autre de ces équations, et on devra appliquer la première ou la seconde, suivant que u sera supérieur ou inférieur à $\frac{1}{3}l$, c'est-à-dire suivant que la fraction $\left(\frac{3\delta l^2 - \pi h^2}{6.\delta.l}\right)$ sera supérieure ou inférieure à $\frac{1}{3}l$, ou ce qui revient au même, suivant que l^2 sera supérieur ou inférieur à $\frac{\pi}{\delta}h^2$.

Pour simplifier nos calculs, qui ne sont du reste destinés qu'à indiquer au lecteur la marche pratique à suivre, nous adopterons le chiffre 2000 pour la densité de la maçonnerie, et le chiffre 60 000 pour la valeur de R . Alors, λ sera égal à 30, et le rapport de π à δ sera égal à $\frac{1}{2}$.

Donc, suivant que l^2 sera supérieur ou inférieur à $\frac{1}{2}h^2$, ou suivant que h sera inférieur ou supérieur à $(l\sqrt{2})$ ou $(1,4.l)$, on devra employer pour le calcul de h , soit la formule (3), soit la formule (4).

La largeur l est donnée; dans les plus grands réservoirs, elle ne dépasse pas 5 mètres. Adoptons cette valeur.

Les formules (3) et (4), dans lesquelles nous remplaçons u par sa valeur, deviennent :

$$(7) \quad \pi h^5 + \delta l^2 h - \delta.\lambda.l^2 = 0$$

$$\text{et} \quad (8) \quad \lambda\pi.h^2 + 4\delta l^2 h - 3\lambda.\delta.l^2 = 0.$$

Si l'on remplace les lettres π , δ , λ par leur valeur, ces équations elles-mêmes deviennent :

$$(9) \quad h^5 + 2l^2 h - 60l^2 = 0$$

$$(10) \quad 30h^2 + 4l^2 h - 90l^2 = 0.$$

En particulier, pour $l=5$, on emploiera la formule (10), si la formule (9) donne pour h une valeur supérieure à $(1,4.l)$ ou au nombre 7. C'est précisément le cas, car l'équation (9) donne $h=10$.

La valeur de h tirée de l'équation (10) est égale à $9^m,35$.

Calcul du profil ordinaire d'un mur de réservoir. — Jusqu'à présent nous sommes restés dans le domaine de la théorie, nous avons recueilli de précieuses indications sur la forme générale du profil à adopter pour un mur de réservoir. Il nous reste à calculer le profil que nous devons adopter en exécution.

Nous avons vu que la forme assurant à la fois la sécurité et le maximum d'économie se composait d'un parement vertical à l'amont et d'un parement concave à l'aval, avec une épaisseur nulle au sommet.

Mais une épaisseur nulle au sommet est inacceptable en pratique; il faut que la partie supérieure du mur puisse résister au choc des glaces, des vagues et des corps flottants; il faut, en outre, qu'elle livre passage aux piétons, et dans certains cas aux voitures.

Cette épaisseur dépend donc et de la hauteur de la retenue, car le danger des chocs augmente avec cette hauteur, et des services qu'on veut demander au barrage sous le rapport de la circulation.

Du moment qu'on adopte une certaine épaisseur au sommet, on peut conserver le parement vertical à l'aval jusqu'à la profondeur à laquelle la pression sur ce parement atteint la limite de sécurité. Nous venons de déterminer cette profondeur au paragraphe précédent.

Le profil définitif doit donc avoir la forme générale de la figure 10, pl. LVII : un parement vertical AC, à l'amont, et à l'aval un parement commençant par une verticale DE et se poursuivant par une ligne concave EB.

Mais, dans ce qui précède, nous avons considéré le mur supportant une charge d'eau égale à sa hauteur; or, s'il faut que la pression limite ne soit pas dépassée dans ce cas, il faut encore qu'elle ne puisse jamais l'être dans toutes les circonstances de remplissage ou de vidange du réservoir qui peuvent se présenter.

Les cas extrêmes sont celui où le réservoir est tout à fait plein, et celui où il est tout à fait vide; si la résistance est assurée dans ces deux cas extrêmes, il est clair qu'elle le sera dans toutes les situations intermédiaires, car la résultante des pressions est toujours comprise entre les deux positions limites correspondant à ces cas extrêmes.

Nous avons vu que la forme générale du profil, dans le cas de la pleine poussée de l'eau, était le contour ACDEB de la figure 10.

Qu'arrivera-t-il lorsque le réservoir sera vide? Ce contour satisfera-t-il encore à la condition que nulle part la pression limite ne soit dépassée? Il importe de s'en assurer. La suppression de la poussée horizontale a pour effet de réduire les forces qui sollicitent le massif à la pesanteur seule appliquée au centre de gravité du profil. Par conséquent, la résultante des pressions est verticale et non plus inclinée, elle s'est rapprochée beaucoup de l'arête interne A, et si la profondeur est un peu considérable, la pression limite est dépassée non-seulement en A, mais encore au-dessus de A, jusqu'à un certain point F du parement vertical.

Au-dessous de ce point F il faut donc renforcer le massif et lui donner une forme qui se rapproche de celle d'un mur d'égale résistance soumis à l'action

seule de son poids, c'est-à-dire que la forme définitive du profil sera représentée par le contour KFCDEB.

M. Krantz a fait saisir nettement cette forme rationnelle par une image des plus justes. « En résumé, dit-il, un mur de retenue doit présenter à peu de chose près la silhouette d'un lutteur qui se prépare à recevoir un choc, et qui, bien affermi sur ses jambes, a porté l'une un peu en avant et fortement arc-bouté l'autre en arrière. »

Il serait facile, avons-nous dit, d'établir les équations différentielles du profil, mais cela serait inutile au point de vue pratique.

Nous nous contenterons donc de suivre une méthode graphique, mais des plus claires, qui a l'avantage de n'exiger que des opérations simples et d'une grande netteté, tout en restant exacte et non approximative.

Le profil théorique à parements courbes peut être remplacé par un profil à lignes brisées, tel que celui de la figure 1, planche LVII.

Il y aura d'abord une partie CDLE à parements verticaux; nous avons appris à en déterminer la hauteur au paragraphe précédent. Viendra ensuite une partie en forme de trapèze à bases horizontales, avec un côté vertical LF à l'amont; il convient de déterminer exactement le point F, ce que nous allons faire tout à l'heure.

Le point F étant déterminé, on se donnera une tranche d'une certaine épaisseur; cette tranche sera représentée par un trapèze FGMH, qui devra être déterminé de façon que la pression en H, le réservoir étant plein, et la pression en G, le réservoir étant vide, ne dépassent pas la pression limite R.

Ayant déterminé le profil de cette tranche, on déterminera celui de la tranche suivante de même hauteur, et ainsi de suite jusqu'à la base. On conçoit qu'en prenant des tranches très-rapprochées, on obtiendra des contours polygonaux très-voisins des courbes théoriques; mais cela n'est pas nécessaire, et l'on peut sans inconvénient adopter pour la hauteur des tranches une valeur assez forte.

Détermination du profil au-dessus du point pour lequel le parement d'amont cesse d'être vertical. — Nous nous occupons toujours d'un mur placé dans les conditions ci-dessus énoncées : largeur en couronne, 5 mètres; densité des maçonneries, 2000 kilogrammes; résistance limite, 6 kilogrammes par centimètre carré, ou 60 000 kilogrammes par mètre carré.

Nous savons que ce mur possède sur 9^m,35 de hauteur une épaisseur uniforme de 5 mètres; c'est donc à la profondeur 9^m,35 que le parement d'aval cesse d'être vertical, et nous partons de là pour établir l'épure de résistance qui constitue la figure 2 de la planche LVII.

AB étant la section horizontale à la profondeur 9^m,35, considérons au-dessous d'elle quatre tranches AA₁, A₁A₂, A₂A₃, A₃A₄ de chacune 5 mètres de hauteur, limitées à l'amont à la verticale du point A et ayant vers l'aval une largeur variable. Nous n'avons eu besoin de recourir qu'à deux valeurs de cette largeur : 15 mètres et 20 mètres, soit 10 mètres et 15 mètres en plus de la base AB.

Nous avons donc deux séries de quatre tranches :

1 ^{re} série. . . .	AB A ₁ B ₁	AB A ₂ B ₂	AB A ₃ B ₃	AB A ₄ B ₄ .
2 ^e série. . . .	AB A ₁ C ₁	AB A ₂ C ₂	AB A ₃ C ₃	AB A ₄ C ₄ .

Nous admettrons que le profil du mur au-dessous de AB se compose successivement de chacune de ces huit tranches, et nous déterminerons dans chaque

cas la pression sur l'arête d'aval, le réservoir étant plein, et la pression sur l'arête d'amont, le réservoir étant vide.

Les opérations étant les mêmes pour toutes les tranches, nous n'en donnerons le détail que pour la première tranche ABA_1B_1 .

Le massif au-dessus de AB pèse 94 000 kilogrammes; ce poids, composé avec les 100 000 kilogrammes que pèse la tranche ABA_1B_1 , et qui sont appliqués au centre de gravité g_1 de la tranche, donne une force verticale P_1 égale à 194 000 kilogrammes.

La poussée horizontale F_1 est donnée par la formule $\left(\frac{\pi h^2}{2}\right)$, dans laquelle h prend la valeur $14^m,55$; elle est appliquée au tiers de la hauteur. Cette force F_1 est donc égale à 103 000 kilogrammes et appliquée à $4^m,78$ au-dessus de la base A_1B_1 .

Les forces P_1 et F_1 se rencontrent en b_1 ; composées par le parallélogramme des forces, elles donnent une résultante R_1 qui coupe la base A_1B_1 du massif en un point v_1 .

C'est la distance B_1v_1 qui sert à calculer la pression en B_1 ; suivant que cette distance est plus grande ou plus petite que le tiers de la base A_1B_1 , on a recours pour déterminer la pression p sur l'arête B_1 à la formule

$$p = 2 \left(2 - \frac{3u}{l} \right) \frac{P_1}{l}$$

ou à la formule

$$p = \frac{2}{3} \frac{P_1}{u}$$

Dans le cas actuel, u , c'est-à-dire B_1v_1 , est égal à $8^m,40$, $l = 15$ mètres, $P_1 = 194\,000$; c'est la première formule qu'il faut employer et elle donne $p = 8320$ kilogrammes, ou bien $0^k,83$ par centimètre carré.

Pour avoir la pression maxima en A_1 , il faut considérer seulement la force verticale P_1 , qui agit à une distance $4^m,10$ de l'arête, distance inférieure à $\frac{1}{3} A_1B_1$; la valeur de la pression est donc donnée par la formule

$$\frac{2}{3} \frac{194000}{4,10},$$

d'où on tire

$$p = 50800,$$

ce qui fait une pression de $5^k,08$ par centimètre carré.

Ce que nous venons de faire pour la première tranche, on le fera pour chacune des sept autres.

Les quatre tranches limitées à

$$A_1B_1 \quad A_2B_2 \quad A_5B_5 \quad A_4B_4$$

ont leurs centres de gravité sur la verticale

leurs poids, composés avec le poids 94000 kilogrammes de la partie supérieure, donnent

$$P_1 P_2 P_3 P_4,$$

qui, composés avec les poussés horizontales

$$F_1 F_2 F_3 F_4,$$

donnent les résultantes

$$R_1 R_2 R_3 R_4;$$

celles-ci rencontrent les bases aux points

$$v_1 v_2 v_3 v_4.$$

Connaissant ces points, on calcule les pressions en

$$B_1 B_2 B_3 B_4,$$

qui sont égales à

$$0^{\text{kg}},85 \quad 2^{\text{kg}},59 \quad 6^{\text{kg}},11 \quad 20^{\text{kg}},58$$

par centimètre carré.

C'est avec les forces verticales

$$P_1 P_2 P_3 P_4$$

seules que l'on calcule les pressions sur l'arête d'amont, pressions qui sont égales à

$$5^{\text{kg}},08 \quad 4^{\text{kg}},29 \quad 5^{\text{kg}},59 \quad 6^{\text{kg}},72.$$

Les quatre tranches limitées à

$$A_1C_1 \quad A_2C_2 \quad A_3C_3 \quad A_4C_4$$

ont leurs centres de gravité sur la verticale

$$j_1 j_2 j_3 j_4;$$

leurs poids, composés avec le poids du massif supérieur, donnent les forces verticales

$$Q_1 Q_2 Q_3 Q_4;$$

celles-ci, composées avec les poussées horizontales

$$F_1 F_2 F_3 F_4,$$

donnent les résultantes totales

$$S_1 S_2 S_3 S_4,$$

qui rencontrent les bases aux points

$$u_1 u_2 u_3 u_4.$$

Les pressions maxima, calculées avec ces éléments, sont :

Sur l'arête d'aval.	0 ^{kg} ,27	1 ^{kg} ,20	3 ^{kg} ,47	6 ^{kg} ,00
Sur l'arête d'amont.	2 ^{kg} ,81	5 ^{kg} ,90	5 ^{kg} ,04	6 ^{kg} ,18

Les figures 3 et 4 de la planche LVII résument les résultats précédents en ce qui touche les pressions sur le parement d'aval, et les figures 5 et 6 les résument en ce qui touche le parement d'amont.

La figure 3 est la courbe des pressions sur la verticale B_1B_2 exprimées en fonction de la profondeur, et la figure 4 est la courbe des pressions sur la verticale C_1C_2 , exprimées également en fonction de la profondeur. On voit que la pression limite de 6 kilogrammes est atteinte sur la première verticale pour la profondeur 24^m,40 et sur la seconde pour la profondeur 29^m,55.

Les figures 5 et 6 sont les courbes des pressions sur le parement vertical d'amont exprimées en fonction de la profondeur, pour la largeur de base de 15 mètres dans le premier cas et de 20 mètres dans le second cas; c'est-à-dire que la figure 5 correspond au cas où l'arête d'aval est sur la verticale B_1B_2 , et la figure 6 au cas où l'arête d'aval est sur la verticale C_1C_2 . On voit que la pression limite de 6 kilogrammes est atteinte dans le premier cas pour la profondeur 26^m,35 et dans le second pour la profondeur 28^m,85.

Les courbes des figures 5 à 6 permettent de construire les deux courbes de la figure 7, qui expriment, en fonction de la largeur à la base du massif, les profondeurs pour lesquelles la pression limite de 6 kilogrammes est atteinte sur le parement d'amont et sur le parement d'aval. Ces deux courbes se rencontrent en un point M, pour lequel la pression limite de 6 kilogrammes sera atteinte à la fois sur les deux parements.

Ce point M correspond à une profondeur de 28^m,45 et à une largeur de 19^m,20 à la base du massif.

Le problème est donc résolu d'une manière exacte, et nous pouvons construire le profil du mur jusqu'à la profondeur de 28^m,45 pour laquelle le parement d'amont cesse d'être vertical. C'est ce que nous avons fait sur la figure 8.

On remarquera que les courbes des figures 5 et 6 sont des lignes droites. Quant à celles de la figure 7, si on voulait les avoir exactement, il faudrait en déterminer un ou deux points de plus; n'ayant que deux points, on serait forcé de les remplacer par une ligne droite, ce qui, du reste, est sans inconvénient dans la pratique.

Ce problème, que nous venons de résoudre par une méthode graphique très-simple quoique exacte, pouvait être traité par le calcul. C'est ce qu'a fait M. l'ingénieur Delocre. Il arrive à une équation complète du sixième degré, qu'il est toujours assez facile de résoudre par tâtonnement; mais les calculs sont à peu près aussi longs qu'avec la méthode graphique, et ils ont l'inconvénient énorme de masquer complètement la suite des opérations. Aussi, recommanderons-nous toujours, dans la pratique, de préférer les méthodes graphiques ou mixtes aux méthodes purement algébriques.

Détermination d'une tranche horizontale quelconque du profil. — La détermination d'une tranche quelconque se fait également, d'une manière exacte et rapide, par la méthode graphique, que nous allons exposer et appliquer à la tranche de 10 mètres de hauteur, qui vient immédiatement après le niveau auquel le parement d'amont cesse d'être vertical.

La planche LVIII représente les opérations effectuées.

Le massif supérieur, de 28^m,45 de haut et de 19^m,20 de large, étant limité à l'horizontale AB, la tranche qui nous occupe aura la forme d'un trapèze ABC₁D₁, figure 1.

Construisons d'abord la résultante des poids du massif supérieur à AB et du massif rectangulaire ABCD; cette résultante est représentée par S et égale à 940 000 kilogrammes.

1^o Supposons d'abord que l'accroissement de largeur DD₁ à l'aval soit de 5 mètres, et qu'on le combine successivement avec un accroissement CC₁ de 3 mètres et avec un accroissement CC₂ de 5 mètres à l'amont. Considérons en premier lieu la section ABC₁D₁; pour avoir la somme des actions verticales, le réservoir étant plein, il faut composer avec S le poids T₁ du triangle BDD₁, le poids M₁ du triangle ACC₁ et le poids N₁ de l'eau qui pèse sur le talus AC₁ et qui concourt évidemment à empêcher le renversement du mur vers l'aval. La résultante de ces forces verticales est P₁ égale à 1 120 000 kilogrammes; elle se compose avec la poussée horizontale F, égale à 759 200 kilogrammes, et appliquée au tiers de la hauteur, soit à 12^m,816 au-dessus de la base. La résultante de ces deux forces est nu₁ qui coupe la base au point u₁. La distance D₁u₁ est de 6^m,20, et la largeur totale de la base 27^m,20; on calculera donc la pression en D₁ par la formule

$$\frac{2}{3} \frac{P_1}{u}$$

qui donne 9^{kg},40. Quant à la pression en C₁, il faut supposer le réservoir vide, c'est-à-dire considérer la seule force verticale qui résulte de la composition de S, T₁ et M₁; cette force P'₁ est de 1 020 000 kilogrammes, et elle donne en C₁ une pression de 5^{kg},61.

Si maintenant on considère la section ABC₂D₁, on aura l'action verticale totale en composant S et T₁ avec le poids M₂ du triangle ACC₂ et le poids N₂ de l'eau qui pèse sur ce triangle. On aura une résultante P₂ qui, composée avec F, fournira le point u₂. Avec le réservoir vide, la résultante se réduira à la verticale P'₂. Avec ces éléments, on calculera les pressions maxima, qui sont de 8^{kg},56 en D₁ et 4^{kg},65 en C₂.

2^o Supposons maintenant que l'accroissement de largeur DD₂ à l'aval soit de 10 mètres et qu'on le combine successivement avec les accroissements CC₁ et CC₂ à l'amont, on obtiendra comme tout à l'heure les résultantes Q₁Q₂, Q'₁Q'₂, ainsi que les points u'₁ et u'₂. Avec ces éléments, on calculera les pressions maxima qui sont de 4^{kg},99 et 4^{kg},56 à l'aval, de 5^{kg},81 en C₁ et 5 kilogrammes en C₂.

3^o L'accroissement à l'aval étant fixe et égal à 5 mètres, la figure 2 donne la courbe qui exprime les pressions sur l'arête d'amont en fonction de la distance de cette arête au point C; on voit en particulier que la pression limite de 6 kilogrammes est atteinte lorsque cette distance est de 2^m,25, ce qui correspond à une largeur totale de base égale à 26^m,45.

L'accroissement à l'aval étant encore fixe, mais égal à 10 mètres, la figure 5 donne la courbe des pressions sur l'arête d'amont exprimées encore en fonction de la distance de cette arête au point C; on voit que la pression limite de 6 kilogrammes est atteinte lorsque cette distance est de 2^m,60, ce qui correspond à une largeur totale de base de 31^m,80.

L'accroissement à l'amont étant fixe et égal à 3 mètres, la figure 4 donne la

courbe des pressions sur l'arête d'aval exprimées en fonction de la distance de cette arête au point D ; on voit que la pression limite de 6 kilogrammes est atteinte lorsque cette distance est de $8^m,75$, ce qui correspond à une largeur totale de base égale à $50^m,95$.

L'accroissement à l'amont étant encore fixe, mais égal à 5 mètres, la figure 5 donne la courbe des pressions sur l'arête d'aval exprimées encore en fonction de la distance de cette arête au point D ; on voit que la pression limite de 6 kilogrammes est atteinte lorsque cette distance est de $8^m,05$, ce qui correspond à une largeur totale de base de $52^m,25$.

Avec ces éléments, nous pouvons maintenant construire les deux courbes *ab* et *cd* de la figure 6 : la courbe *ab* donne en fonction de l'accroissement de largeur à l'amont les largeurs totales de base pour lesquelles la pression limite de 6 kilogrammes est atteinte sur le parement d'amont, et la courbe *cd* donne également en fonction de l'accroissement de largeur à l'amont les largeurs totales de base pour lesquelles la pression limite de 6 kilogrammes est atteinte sur le parement d'aval.

Ces deux courbes se coupent en un point A pour lequel la pression limite est atteinte aussi bien sur le parement d'amont que sur le parement d'aval.

Ce point A correspond à un accroissement de largeur à l'amont de $2^m,50$ et à une largeur totale de base de $50^m,60$, d'où résulte un accroissement de largeur de $8^m,90$ à l'aval.

Ces chiffres nous permettent de construire le profil vrai de la tranche considérée ; c'est ce que nous avons fait sur la figure 9 de la planche LVII.

Pour obtenir les tranches suivantes, on procédera exactement comme nous venons de le faire ; les constructions et les calculs n'offriront aucune difficulté. On remarquera seulement que les courbes des figures 2 à 6 de la planche LVIII sont construites avec deux points seulement, ce qui les remplace par des lignes droites ; bien que cela soit sans inconvénient, il vaudra mieux construire trois points afin d'obtenir plus d'exactitude.

Du profil définitif. — La méthode graphique précédente, ainsi que la méthode algébrique de M. Delocre, conduisent à des profils à parements polygonaux, qu'on ne saurait conserver dans la pratique, parce qu'ils donneraient lieu à des difficultés de construction et produiraient un effet très-désagréable à l'œil surtout pour le parement vu d'aval.

Si l'on remarque que les bases de la théorie sont des hypothèses plus ou moins plausibles, bien que justifiées par les bons résultats expérimentaux auxquels elles conduisent, si l'on remarque en outre que la détermination de la pression limite offre une certaine élasticité et que nous nous sommes tenus dans la plus grande réserve à cet égard en adoptant le chiffre de 6 kilogrammes par centimètre carré, on reconnaîtra que les parements polygonaux peuvent être sans aucun inconvénient remplacés par des parements courbes se rapprochant autant que possible des premiers.

On substituera donc aux parements formés de lignes brisées des parements formés d'un ou de plusieurs arcs de cercle se raccordant tangentiellement ; c'est ce que l'on doit toujours faire dans la pratique.

Résistance au glissement. — Nous n'avons, dans tous les calculs précédents, considéré que la résistance aux pressions transmises normalement sur les tranches horizontales du mur. Il est une autre condition de stabilité que nous avons laissée de côté et qu'il convient d'examiner maintenant ; sur une assise horizontale, située à la profondeur *h*, s'exerce une poussée horizontale *F* égale

à $\left(\frac{\pi h^2}{2}\right)$. Cette poussée tend à faire glisser le massif supérieur sur l'assise considérée; il ne faut pas que le glissement soit possible.

Généralement, il en est ainsi du moment que la résistance aux pressions est assurée, et on n'a pas de glissement à craindre. Cependant il est bon de s'en assurer.

La poussée horizontale F agit sur une surface exprimée en mètres carrés par le chiffre l qui mesure la largeur de l'assise; il faut que cette poussée soit inférieure à la cohésion de la maçonnerie, augmentée du frottement dû au poids P du massif supérieur. Si γ est le coefficient de cohésion et f le coefficient de frottement de la pierre sur la pierre, la stabilité sera assurée pourvu qu'on ait :

$$F < \gamma.l + P.f.$$

On n'a pas l'habitude de tenir compte de la cohésion de la maçonnerie, de sorte que la poussée doit être combattue par le frottement seul, et que l'inégalité précédente se réduit à :

$$F < P.f.$$

On admet en général, pour valeur du coefficient de frottement f , 0,76. Il suffira donc de vérifier, pour chaque assise, si la poussée horizontale F reste inférieure aux trois quarts de la résultante verticale P .

Autrement dit, il faudra que la courbe des pressions, qui lie les points tels que u_1 u_2 u_3 de la figure 2, planche LVII, points où les résultantes rencontrent les bases correspondantes, il faudra que cette courbe ne coupe jamais une assise horizontale sous un angle moindre que l'angle de frottement, dont la tangente trigonométrique est égale à 0,76.

Murs sur plan circulaire. — Lorsqu'on a à établir un mur de réservoir dans une gorge étroite à versants escarpés, on lui donne en plan une forme circulaire, dont la convexité est tournée vers l'amont.

Ce mur fonctionne alors par rapport à la poussée horizontale des eaux comme le ferait une voûte, et il transmet cette poussée horizontale à ses culées naturelles qui ne sont autres que les flancs mêmes de la montagne.

Cette disposition est évidemment favorable à la stabilité, et elle permettrait même de profiler le mur comme s'il n'avait à résister qu'à la pesanteur. Dans ce cas, il faudrait calculer la poussée horizontale T transmise latéralement aux rochers en se servant de la formule de Navier :

$$T = \rho F,$$

dans laquelle ρ est le rayon du mur en plan et F la poussée de l'eau par mètre courant de mur.

En réalité, on n'est pas certain que cette répartition de la poussée de l'eau se fait comme nous venons de le supposer, et on calcule toujours les murs de réservoirs, comme s'ils devaient être établis en ligne droite. Cette manière d'agir est beaucoup plus prudente.

Avec elle on n'a rien à craindre; ce qui n'empêche pas d'adopter, lorsque les

circonstances s'y prêtent, une forme circulaire en plan, puisqu'il en résulte un surcroît de stabilité.

Comparaison des nouveaux profils de barrage avec les anciens. — Pour permettre au lecteur d'apprécier les avantages économiques réalisés par l'emploi des nouveaux profils et par une intelligente répartition de la matière, nous avons réuni sur la figure 7 planche LV, les profils de quelques vieux barrages mis à côté de celui du barrage du Ban. Autant la forme de celui-ci satisfait l'œil au premier abord, autant la forme de ceux-là est disgracieuse, bien qu'en certains points ils donnent lieu à des pressions exagérées qui ne se produisent pas avec le profil théorique.

Le barrage de Puentès a une section de 1519 mètres carrés, et la pression y atteint 7^{kg},9; le profil théorique n'exigerait que 1029 mètres carrés avec une pression limitée à 6 kilogrammes.

Le barrage du Val de Inferno a une section de 1084 mètres carrés, et la pression maxima y est de 6^{kg},5; le profil théorique ne donnerait qu'une section de 591 mètres carrés pour une pression maxima de 6 kilogrammes.

Le barrage d'Elche a des pressions qui atteignent 12^{kg},7; sa section est de 245 mètres carrés: avec le profil théorique, qui ne donnerait que des pressions de 6 kilogrammes, elle serait réduite à 187 mètres carrés.

Le barrage de Grosbois, beaucoup plus moderne, a des pressions qui atteignent 10^{kg},40, sa section est de 226 mètres carrés; le profil théorique n'exigerait que 156 mètres carrés et réduirait à 6 kilogrammes la pression maxima. Il est remarquable que si l'on avait retourné la section de Grosbois, de manière à placer les gradins à l'aval, et non à l'amont, on eût, au contraire, obtenu un excès de stabilité. C'est un des exemples les plus frappants des avantages qu'entraîne une bonne répartition de la matière.

2° DIGUES EN TERRE

DIGUES EN TERRE DES ÉTANGS QUI ALIMENTENT LE CANAL DU CENTRE

L'appareil d'un étang ou d'un réservoir qui alimente un canal se compose de :

- 1° La *digue* ou *chaussée*;
- 2° Le *déversoir*, qui livre passage aux eaux surabondantes lorsque le niveau normal de la retenue est atteint; ce niveau ne doit pas être dépassé, parce que la digue, dont la *revanche* a été calculée en conséquence, serait en danger d'être surmontée par les vagues et de périr;
- 3° La *bonde*, qui sert à la vidange de l'étang; c'est un aqueduc avec vannes, ménagé dans la digue; il y a généralement plusieurs bondes à des niveaux différents; la *bonde de fond* ou de vidange permet d'assécher complètement l'étang;
- 4° Les *fossés d'enceinte*, qui arrêtent les terres et les sables apportés par les eaux;
- 5° Les *rigoles d'alimentation*, qui détournent les ruisseaux et recueillent les eaux pluviales des versants.

Accidents arrivés aux digues du canal du Centre. — Commencé au siècle

dernier et achevé seulement dans celui-ci, le canal du Centre est alimenté par des étangs dont les digues en terre se sont plusieurs fois rompues et ont causé de véritables désastres.

Le 24 ventôse an IX, la digue de l'étang de Longpendu se rompit; une masse d'eau énorme s'en échappa, coupa le canal, détruisit tout sur son passage, et causa la mort de quatre personnes.

En 1825, la rupture de la digue de l'étang du Plessis vint tout à coup décupler le débit de la Bourbince, dont la vallée fut inondée; le canal fut coupé en beaucoup d'endroits, des bateaux furent brisés, d'autres sortirent du canal par une brèche et y rentrèrent par une autre, le pont de Paray fut emporté, les routes coupées, un homme tué, des maisons rasées.

En 1829, ce fut le tour de l'étang Berthaud et, en 1851, celui de l'étang de Torcy; des désastres analogues s'en suivirent. Les accidents eurent pour cause l'insuffisance des déversoirs, la faible *revanche* conservée à la digue, et surtout la construction défectueuse des perrés de revêtement, qui s'effondrèrent tout à coup, laissant la terre exposée au choc irrésistible des vagues.

Des perrés d'étangs. — Les perrés des étangs du canal du Centre étaient construits en moellons smillés et présentaient sur toute la hauteur un talus unique.

Les joints étaient d'équerre au talus; les vagues, grosses ou petites, qui viennent frapper un perré de ce genre, lancent les eaux dans les joints; le batillage délaye sans cesse la terre sous le perré, et l'eau emprisonnée ne revient pas sur elle-même; lorsque la vague se retire, elle descend entre le perré et le massif en terre de la digue; les cales et les garnis de pierre placés en queue des moellons sont bien vite enlevés.

Les figures 1 à 4 de la planche LII représentent l'effet des vagues sur la partie d'un perré située au-dessus du niveau normal *mn* des eaux. Elles commencent par produire un affouillement *ab* sous le perré, figure 1; les terres arrachées et délayées se concentrent au bas de l'affouillement, et exercent une poussée sur le perré, qui finit par se boursouffler, comme le montre la figure 2; la partie du perré située au-dessus de l'affouillement s'affaisse, et tout se disloque. La manière dont sont disposés les joints des moellons ne contrarie du reste pas cet effet de dislocation.

Lorsque les choses en sont venues là, les variations du niveau de l'étang changent les pressions qui maintenaient encore les moellons sur le massif de terre, la terre se délaye de plus en plus, les moellons glissent et le perré s'effondre.

Lorsqu'il s'est produit une ravine dans le perré, les parties latérales n'étant plus soutenues s'inclinent vers cette ravine et s'effondrent à leur tour; cette solidarité de toute la longueur d'un perré est des plus fâcheuses.

Les effets précédemment décrits se font rapidement sentir; ainsi les étangs Berthaud et de Torcy, qui soutenaient des hauteurs d'eau de 8^m,50 et de 11 mètres, ont vu leurs perrés détruits cinq ans après leur construction.

Le perré en moellons bruts résistera encore moins bien que le précédent.

La construction d'un perré, dont les joints sont normaux au talus, est nécessairement défectueuse, parce que le maçon est dans une position peu commode et qu'il ne peut disposer avec soin les cales et les garnis.

Une maçonnerie à assises horizontales, que l'on élève par gradins, est toujours mieux faite; l'ouvrier peut s'arranger pour avoir son petit chantier à hauteur de mi-corps; il voit bien ce qu'il fait et a la liberté de tous ses mouvements: c'est

pourquoi M. Vallée recommandait autrefois de ne construire les perrés que par assises horizontales. Mais, il y a un moyen plus simple d'avoir de bons perrés, c'est de les construire en bonne maçonnerie de mortier hydraulique.

Un perré à pierres sèches, construit avec toutes les précautions possibles, sera toujours dangereux et on doit le proscrire dès qu'il s'agit d'un étang de quelque importance ; car la pierre sèche laisse, en réalité, l'eau en contact avec le massif de la digue qui se trouve fatalement délayé et profondément dégradé après un temps plus ou moins long ; les fissures les plus petites s'agrandissent rapidement sous l'influence des eaux et il est difficile de les combattre, ou il est trop tard lorsqu'on les reconnaît.

Accessoires des étangs. — Le principal accessoire des étangs ou réservoirs est le déversoir, qui doit avoir des dimensions suffisantes pour livrer passage au débit maximum de tous les ruisseaux affluents, sans que cependant les eaux prennent sur le seuil une hauteur dangereuse pour la sécurité de la digue dont la revanche ne serait pas assez grande.

Il faut d'autre part que le déversoir maçonné soit assez solide pour résister au choc de la nappe déversante ; on peut disposer la chute par gradins comme le montre la figure 6, planche LII ; sur les gradins on ménage des auges dans lesquelles il reste toujours une certaine hauteur d'eau qui amortit le choc ; la paroi antérieure de l'auge est percée à sa base de trous qui permettent à l'eau qu'elle contient de s'écouler lorsque le déversoir ne fonctionne plus. Généralement, les déversoirs sont placés sur les côtés de la digue ; leur chute est ainsi beaucoup moindre et la construction plus facile ; seulement, il faut créer un canal de décharge spécial.

Les bondes de fond doivent être assez grandes pour permettre d'écouler tout le produit affluent, de telle sorte qu'on puisse à toute époque maintenir le réservoir à sec pour y exécuter des réparations urgentes.

Lorsque les eaux alimentaires d'un étang sont troubles et chargées de vase et de graviers, il convient de ne pas les admettre directement dans l'étang qui serait rapidement envasé ; on les reçoit d'abord dans un bassin ou grand fossé antérieur d'où elles ne passent dans le réservoir que par déversement. C'est dans ce bassin, facile à curer et à nettoyer, qu'elles déposent la plus grande partie des matières dont elles sont chargées.

Étangs Berthaud et de Torcy. — Nous avons dit plus haut quels accidents avaient eu à subir avant 1850 les digues des étangs Berthaud et de Torcy. Ces digues furent refaites par les soins de M. l'ingénieur en chef Vallée : on conserva le massif en terre, mais on eut recours à un revêtement en maçonnerie avec gradins. Ce système est représenté par les figures 7 et 8 de la planche LII.

On disposait d'un terrain argilo-sableux, excellent pour faire des remblais corroyés ; l'argile pure ne convient pas du tout pour des corrois soumis à des alternatives de sécheresse et d'humidité ; dégraissée par du sable, elle perd sa faculté de retrait tout en conservant encore assez de liant.

La terre argilo-sableuse, arrosée d'un lait de chaux, fait, comme nous l'avons déjà vu, une sorte de béton maigre et constitue un excellent remblai.

Les digues des étangs Berthaud et de Torcy furent rétablies dans ce système et si bien corroyées par le battage, et par la compression du rouleau formé de cercles de fonte armés de dents, que l'on était forcé de recourir au pic pour les attaquer.

Le massif en terre est revêtu de murs en gradins ; chaque gradin occupe une largeur horizontale de 5 mètres et une hauteur de 2 mètres ; il commence par

une berme de 1^m,72 de large et de 0^m,40 de haut et se termine par un mur fondé et construit comme l'indiquent les figures. Le tout est maçonné en bon mortier hydraulique.

Le talus général du revêtement est de 1 1/2 et le talus d'écoulement des terres est moindre; il n'y a donc pas de poussée générale du massif sur le revêtement et chaque mur n'a à résister qu'à la poussée de la terre qui lui est contiguë.

Bien que toutes les précautions soient prises pour éviter les tassements, on remarquera cependant que le système est disposé de manière à localiser les tassements et déformations qui viendraient à se produire, et à ne pas reliair d'une manière trop solide les gradins les uns aux autres.

Le système paraît également bien disposé pour résister au choc des glaces et des vagues.

Le revêtement en maçonnerie est simplement protecteur; on n'en tient pas compte dans la résistance; c'est le massif de terre seul qui doit être capable de résister à la poussée des eaux.

Ce n'est donc pas un système mixte, qui consiste à constituer la digue partie en maçonnerie, partie en terre, comme on l'a fait aux réservoirs de Saint-Féréol, canal du Midi, et de Couzon, canal de Givors. Les digues de ces réservoirs soutiennent des hauteurs de 31^m,55 et de 30^m,50; elles sont formées de murs épaulés par des remblais ou compris entre deux remblais. Ce système ne peut inspirer de sécurité que si les murs sont capables de résister par eux-mêmes à la poussée, et, dans ce cas, les remblais sont inutiles.

Le revêtement de l'étang de Torcy comprenant six gradins de chacun 3 mètres de hauteur, établi en 1852, éprouva bientôt des mouvements et il fallut le consolider en 1858.

Ces mouvements ne prouvent rien contre l'efficacité du système; car ils ne se produisirent pas à l'étang Berthaud; en effet, les travaux de reconstruction de ce dernier étang ne furent pas exécutés d'urgence, on eut le temps de déblayer l'ancienne digue et de comprimer fortement le terrain à son emplacement. Pressé par la nécessité d'assurer la navigation, on ne put en faire autant à Torcy et l'on dut asseoir les nouveaux corrois sur les restes de l'ancienne digue; M. Vallée avait eu soin de signaler qu'en agissant ainsi on s'exposait à des tassements futurs.

On fut donc conduit en 1858 à consolider la digue de Torcy; c'est ce que l'on fit en établissant dans le massif des contre-forts en maçonnerie dont la coupe est représentée par la figure 9, planche LII. Ces contre-forts ont 1^m,50 d'épaisseur; ils sont espacés d'axe en axe de 6^m,50 à 10 mètres, en allant du milieu de la digue vers le flanc des coteaux. Ils ont à la surface le même profil que les murs de revêtement, et sont construits en maçonnerie hydraulique. Les puits ont été exécutés dans des blindages en charpente que l'on remontait au fur et à mesure de l'exécution des maçonneries.

Ces travaux de consolidation ont arrêté les tassements.

Barrage en terre du réservoir de Montaubry. — Le réservoir de Montaubry, qui sert à l'alimentation du canal du Centre, a été construit en 1861. Les figures 1, 2, 3, 5 de la planche LIV en représentent les dispositions principales, et voici la description de cet ouvrage extraite en grande partie des légendes jointes au portefeuille de l'École des ponts et chaussées :

Une situation exceptionnellement favorable a déterminé le choix de l'emplacement qu'occupe cet ouvrage. Il est situé, en effet, à l'extrémité d'un bassin granitique de 1600 hectares de superficie, qui débouche dans la vallée de la

Dheune par une gorge sinueuse, au point le plus rétréci de laquelle on a placé la digue formant barrage. De ce point au canal, la distance en ligne droite est de 500 mètres, et le bief auquel il correspond est à 4 kilomètres du bief de partage.

La digue est construite en terre, et défendue contre l'action des eaux et des glaces par des murs indépendants à parement incliné, que relie entre eux des bermes maçonnées (système Vallée). Sur le côté gauche, est ouvert et taillé en gradin, dans le rocher, le déversoir. Sur le côté droit, un massif de maçonnerie, qu'enveloppe la digue, contient les bondes de prise d'eau. Celles-ci, au nombre de trois, communiquent au moyen d'un puits vertical avec un aqueduc de fuite, qui se décharge dans la rigole d'amenée des eaux au canal.

La surface occupée par le réservoir est de 125 hectares, y compris une zone de 20 hectares, située au-dessus du niveau du réservoir, et qui doit être boisée de manière à s'opposer, autant que possible, à la descente des terres et des sables que les eaux pourraient entraîner dans le fond du réservoir. Sa capacité est de 5 078 000 mètres cubes. Le bassin de Montaubry ne renferme aucune source de quelque importance, mais on ne saurait évaluer à moins de 11 millions de mètres cubes la quantité d'eau qu'il reçoit annuellement par la pluie.

Digue barrage. — La digue de Montaubry a 6 mètres de largeur en couronne.

Sa hauteur, au-dessus du fond de la vallée, est de 16^m,58. Au même niveau, sa largeur est de 55^m,70, et sa longueur sur l'axe de 39 mètres. Elle est surmontée d'un parapet en maçonnerie dont la saillie est de 1^m,20 et dont l'axe est placé à 2^m,25 de la crête du talus extérieur. Ce talus est réglé à un et demi de base pour un de hauteur. Telle est également l'inclinaison générale de chacune des trois parties du talus extérieur que découpent les murs et les bermes de revêtement, et que divisent deux grandes bermes de 2 mètres de largeur formant palier. L'une de ces bermes est située à 6 mètres au-dessus du pied de la digue, l'autre à 11 mètres.

Tout le massif de la digue qui se trouve en amont de la crête extérieure repose directement et s'appuie littéralement sur le rocher, purgé au préalable de toute partie tendre. Le plan de fondation est moyennement à 6 mètres au-dessous du fond de la vallée. Trois entailles continues, désignées sous le nom de clefs, font pénétrer ce massif dans le rocher, et s'opposent à toute filtration. Les deux premières ont 1^m,40 de largeur et 1 mètre de profondeur; la troisième a 3 mètres en tous sens.

La partie située en aval de la crête extérieure est établie sur le terrain naturel dont on a fait disparaître toute trace de végétation, et contre le rocher nettoyé aussi bien que possible.

Ces deux parties ont été construites en même temps avec la même terre, que l'on a extraite des terrains voisins de la digue, et qui n'est autre chose que du granit décomposé, dans lequel le rapport du sable à l'argile est d'environ 3 à 2. Le mode de construction diffère seulement en ce que la première, c'est-à-dire la partie d'amont, se compose de couches de 0^m,10 d'épaisseur, que le battage ou la compression a réduite à 0^m,06, et que, pour la partie d'aval, l'épaisseur des couches avant le battage était de 0^m,20, et après de 0^m,14. C'est ce que l'on appelle, au canal du Centre, des terres battues en *corrois* et en *mi-corrois*.

Un gazonnement obtenu par semis et des plantations protègent le talus de cette dernière partie.

Ainsi que cela a été dit plus haut, le revêtement de l'autre partie se compose de murs indépendants et de bermes en maçonnerie. Ces murs sont parallèles

entre eux et à l'axe de la digue. Leur hauteur est de 0^m,80, et à l'exception du seizième, contre lequel s'appuie la berme supérieure, chacun d'eux rachète, avec la berme qui le suit, une hauteur totale de 1 mètre, ainsi répartie :

Hauteur du mur, comme ci-dessus.	0 ^m ,80
Inclinaison de la berme.	0 ^m ,20
	1 ^m ,00
A cette hauteur correspond, en projection horizon-	
tale, sauf au droit des grandes bermes, le fruit	
du mur.	0 ^m ,60
la largeur de chaque petite berme.	0 ^m ,90
	1 ^m ,50
Total.	1 ^m ,50

L'épaisseur moyenne de chacun des seize murs est de 0^m,60.

Le premier repose sur une maçonnerie de 2 mètres d'épaisseur, faisant mur de garde, et pénétrant de 1 mètre dans le rocher au-dessous du plan de fondation de la digue. Tous les autres sont fondés sur un massif de béton de 0^m,40 d'épaisseur et de 0^m,90 de largeur. Des moellons smillés et un couronnement en pierre de taille forment leur parement.

Les bermes qui les relient sont revêtues d'une couche de béton de 0^m,185 que recouvre un enduit en bitume de 0^m,015 d'épaisseur. Cet enduit pénètre de 0^m,02 dans le béton, le long du couronnement du mur inférieur et au pied du mur supérieur.

Le parapet qui surmonte la digue, et sert de garde-vague, est construit en moellons smillés. Il repose sur un massif en béton de 0^m,55 d'épaisseur et de 0^m,60 de largeur, et porte un couronnement en pierre de taille de 0^m,35 de hauteur, et de 0^m,60 de largeur qui, de chaque côté, déborde de 0^m,05 le parement en moellons smillés. A droite, ce parapet s'enfonce dans le rocher; à gauche il reçoit le garde-corps de la passerelle jetée au-dessus du déversoir. Vis-à-vis des bondes, il est coupé par deux ouvertures de 0^m,80 de largeur, qui ferment des portes en fer doublées en tôle entre lesquelles on a pratiqué un coffre en bois destiné à renfermer les ustensiles nécessaires à la manœuvre des vannes. Sa longueur totale est de 132^m,50.

Le déversoir a 8 ^m ,00 de largeur et est arrasé à. . .	15 ^m ,20
au-dessus du fond de la vallée. La hauteur de	
la digue étant, en y comprenant la saillie du	
parapet, de.	17 ^m ,78
	2 ^m ,58
La revanche est de.	2 ^m ,58

Comme la digue, le déversoir est fondé sur le roc vif et résistant. On a dû, à cet effet, descendre jusqu'à 5 mètres de profondeur la fondation du mur de garde et des bajoyers. Un arc en béton, jeté entre ceux-ci au-dessus du rocher fendillé et décomposé, sert de radier. Il est recouvert d'un enduit en bitume et s'appuie contre une plate-bande en pierre de taille qui couronne le mur de garde.

Les bajoyers servent d'appui à une passerelle, qui se compose d'un tablier en bois porté par trois fermes en fer forgé, distantes de 0^m,80, et dont les naissances sont placées à 0^m,80 au-dessus du radier du déversoir. Ces fermes sont reliées, entre elles, par des entretoises, et celle qui est située du côté d'aval porte un garde-corps.

Bondes. — Les aqueducs ou bondes de prise d'eau sont établis au fond d'un pertuis en maçonnerie de 1^m,60 d'ouverture, qu'accompagnent deux escaliers en pierre de taille ayant chacun 1^m,10 de largeur, et dont les marches ont 0^m,20 de hauteur sur 0^m,30 de foulée. Les trois aqueducs ou bondes sont superposés, et distants de 5 mètres. Ils sont voûtés, et leur voûte en plein cintre a 1 mètre de diamètre. La hauteur de l'aqueduc inférieur est de 2 mètres sous clef. Celle des aqueducs supérieurs est de 1^m,70.

Les trois bondes sont fermées par un châssis en bois, dans lequel est pratiquée l'ouverture de la vanne. Cette ouverture est de 0^m,60 sur 0^m,35. La vanne est également en bois et a 0^m,70 sur 0^m,40; son épaisseur est de 0^m,10. Elle est manœuvrée au moyen d'un cric placé à la hauteur de la grande berme immédiatement supérieure. Les deux premiers crics reposent sur des arcs en maçonnerie, qui traversent le pertuis des bondes; le troisième est fixé sur une plate-forme élevée au niveau du parapet. En amont de chaque vanne sont creusées, dans les bajoyers des pertuis, des rainures destinées à recevoir des poutrelles.

Puits. — Le puits, auquel aboutissent les aqueducs, a 1^m,10 de diamètre, jusqu'à la hauteur de la voûte du troisième aqueduc, et 0^m,90 au-dessus. Il est revêtu en moellons smillés que divisent des assises en pierre de taille placées à la hauteur du radier des bondes et destinées à recevoir le choc de l'eau à laquelle celles-ci donneront passage. Ce puits est fermé, au niveau de la plate-forme de la berme supérieure, par un tampon en fonte. Le massif auquel il appartient, et dont font partie les aqueducs, est noyé dans la digue et renforcé par des contre-forts destinés à empêcher les filtrations qui tendraient à s'établir le long des parements extérieurs.

Aqueducs de fuite. — Une précaution analogue a été prise le long de l'aqueduc de fuite qui forme le prolongement de la bonde inférieure, et qui a les mêmes dimensions qu'elle. Deux anneaux en maçonnerie de 1^m,00 de largeur et de 1^m,00 de saillie forment également obstacle au passage des eaux. Cet aqueduc se termine par un pertuis en maçonnerie à l'extrémité duquel est placé un déchargeoir, de 5 mètres de largeur, fermé par des poutrelles, qui permet d'envoyer en rivière l'eau du réservoir par le lit de l'ancien ruisseau, ou, au besoin, de vider la rigole d'amenée des eaux du canal.

L'aqueduc de fuite se prolonge par une rigole de 512 mètres de longueur, ouverte dans le rocher avec une largeur de 1^m,50 au plafond et une pente de 0,006.

Dépense. — La dépense du réservoir comprend les éléments suivants :

Terrains, 125 hectares	185.000 francs.
Digues et bondes	557.000 —
Déversoir	25.000 —
	<hr/>
Total	547.000 —

Le profil le plus élevé règne sur une longueur de 59 mètres en travers de la vallée; sa hauteur va en diminuant de chaque côté de cette partie médiane, à mesure qu'on remonte à flanc de coteau.

Corrois. — Les corrois ont été exécutés avec des cylindres cannelés en fonte, du poids de 1200 kilogrammes, trainés par deux chevaux; avec ces cylindres, la main-d'œuvre du corroyage est revenue à 0^r,40 par mètre cube, tandis qu'avec les battes elle reviendrait à 1 franc.

Pour lier les couches successives entre elles, on s'est servi d'une herse à dents d'acier.

Le cube des terres de la digue, mesuré après corroyage, a été de 1200 mètres cubes, et la dépense totale faite pour régalaage, arrosage au lait de chaux, battage et compression, a été de 0^f,80 pour chaque mètre cube. On a obtenu d'excellents résultats.

Bonde à triple prise d'eau. — Les vannes de chacune des trois bondes superposées n'ont que 0^m,70 de largeur sur 0^m,55 de hauteur; chacune d'elles fonctionne à son tour suivant le niveau de l'eau dans le réservoir. La manœuvre de ces petites vannes est très-facile au moyen de crémaillères en bronze et de crics; les crémaillères peuvent rester sous l'eau sans danger; il n'en est pas de même des crics, ils sont dans des boîtes mobiles qu'on enlève à mesure que l'eau monte et qu'on dépose dans le coffre placé au sommet des bondes.

Les petites vannes en bois correspondent à des aqueducs de beaucoup plus grandes dimensions; elles s'appuient donc sur des châssis en bois qui masquent ces aqueducs et qui s'enlèvent facilement, car ils sont maintenus par de simples coins.

Lorsque l'on veut maintenir les eaux du réservoir à une hauteur constante, par exemple entre la première et la seconde bonde, pour faire des réparations au-dessus, il est indispensable d'ouvrir aux eaux un débouché plus grand que celui d'une petite vanne qui est suffisante pour l'alimentation du canal; à cet effet, on place des poutrelles dans les rainures en avant de la bonde inférieure; l'eau comprise entre cette bonde et les poutrelles s'échappe rapidement, on démonte le châssis et la bonde, l'eau du réservoir passe sur les poutrelles qui forment déversoir et s'échappe par l'aqueduc débouché sur toute sa section. Qu'une crue subite arrive, et l'on n'a pas à craindre de voir les eaux dépasser la hauteur qu'on leur a assignée. Cette ingénieuse disposition est due à M. Vallée.

Réservoir de Mittersheim. Digue en terre. Déversoir-siphon. — Le canal des houillères de la Sarre vient s'embrancher sur le canal de la Marne au Rhin, dans le bief de partage des Vosges, au milieu de l'étang de Gondrexange.

Ce canal est alimenté par l'étang de Mittersheim, d'une superficie de 262 hectares, contenant 7 100 000 mètres cubes, d'une longueur maxima de 4 500 mètres; la tranche utilisable pour l'alimentation a une hauteur de 3^m,465 et un volume de 5 800 000 mètres cubes.

Le sol de l'étang est complètement imperméable; il retient les eaux des crues de la Sarre et le produit de l'eau pluviale qui tombe sur un bassin de 2 950 hectares, à faible pente et presque entièrement boisé.

La hauteur annuelle de pluie sur ce bassin est de 0^m,725; l'évaporation enlève une tranche de 0^m,584, l'étang reçoit le volume correspondant à une tranche de 0^m,20, le reste est absorbé.

La digue de l'étang de Mittersheim, figure 6, planche LV, a 352^m,50 de longueur, 8^m,82 de hauteur entre la chaussée qui la surmonte et le seuil de la bonde de fond, et 11^m,52 de hauteur maxima entre le sommet du parapet et le plan de fondation du mur de garde d'amont. La chaussée est à 0^m,70 au-dessus de la retenue réglementaire; un parapet de 1 mètre la protège contre les vagues.

Le corps de la digue se compose, comme celui de la digue de Montaubry, d'un massif de terre corroyée, protégé à l'amont par un revêtement en maçonnerie formé de gradins ayant chacun un mur incliné et une risberme à faible pente, comme le montre le profil en travers.

Le corroi en terre est formé de terre du diluvium, contenant à peu près autant de sable que d'argile; cette terre était mélangée d'un peu de chaux hydraulique en poudre ou en lait de chaux, suivant le degré d'humidité de la terre. Le corroyage se faisait par un rouleau en fonte pesant 2400 kilogrammes, passant sur des couches successives de 0^m,08 d'épaisseur; après 12 passages, la compacité était suffisante; dans les angles, on se servait de dames en fonte de 19 kilogrammes ou de marteaux en bois.

On a employé 12 litres de chaux en poudre par mètre cube de corroi, et la main-d'œuvre de compression au rouleau s'est élevée à 0 fr. 21.

Les gradins devant résister aux glaces, ont une épaisseur de maçonnerie plus grande que celle du réservoir de Montaubry au canal de Bourgogne; chaque mur repose sur un patin en béton, et a une épaisseur de 0^m,50 en tête et de 0^m,70 au pied; chaque risberme a une épaisseur de 0^m,50, dont 0^m,18 de béton et 0^m,12 de pavé.

M. l'ingénieur Hirsch a décrit ces travaux dans une note insérée aux *Annales des ponts et chaussées* de 1869. La partie la plus intéressante est le déversoir-siphon, qui sert en même temps à la réglementation et à la vidange de l'étang.

Ce déversoir-siphon a été admis à l'Exposition universelle de 1867; les figures 10 et 11 de la planche LII, empruntées au Mémoire de M. Hirsch, en donnent les dispositions principales, et en voici la description prise dans les notices de l'Exposition universelle.

« *Objet du déversoir-siphon.* — Cet ouvrage a pour objet d'évacuer le trop-plein du réservoir de Mittersheim et d'empêcher son plan d'eau de s'élever au-dessus d'une limite déterminée, lorsque surviennent des crues dont l'intensité variable peut atteindre jusqu'à 6^m,50 par seconde.

Description. — Il fonctionne comme un véritable siphon, dans toute l'acception scientifique du mot, et se compose essentiellement de deux gros tuyaux convenablement recourbés, de 0^m,70 de diamètre intérieur et 0^m,022 d'épaisseur, accompagnés de deux petits tuyaux auxiliaires, également recourbés, de 0^m,15 de diamètre et 0^m,012 d'épaisseur, qui sont en communication avec eux par la partie supérieure et remplissent le rôle d'amorceurs et de désamorceurs.

Tous ces tuyaux communiquent avec le réservoir par leur petite branche ascendante et plongent par leur branche descendante dans un bassin inférieur, situé à l'aval de la digue; leur coude supérieur est placé au niveau réglementaire de l'étang.

Chaque gros siphon, muni de son amorceur spécial, forme d'ailleurs un système complet, de sorte que l'appareil est double et se compose de deux parties entièrement semblables, mais complètement indépendantes, dont l'une quelconque peut au besoin être visitée et réparée, sans que l'autre cesse d'être en état de fonctionner.

Tout cet appareil est logé dans un puits couvert qui le met à l'abri de la gelée et des corps flottants; tous les tuyaux, dont les divers coudes ont un rayon de courbure uniforme de 1^m,44 sur l'axe, y sont, d'ailleurs, disposés de manière qu'on puisse circuler facilement autour d'eux.

Ce puits, de forme carrée, est adossé au parement amont de la digue; à sa partie inférieure, il est percé de deux ouvertures, l'une dans le mur antérieur, l'autre dans le mur postérieur du puits: la première est généralement ouverte et laisse pénétrer librement l'eau du réservoir dans l'intérieur du puits; elle ne se ferme qu'en cas de réparations à faire; la seconde, au contraire, est con-

stamment fermée et ne s'ouvre que pour vider soit le puits, soit le réservoir ; elle sert de bonde de fond et est placée en tête d'un aqueduc de fuite établi sous la digue.

Le mur antérieur du puits est percé, en outre, de deux autres ouvertures placées à 5^m,50 de profondeur au-dessous du plan d'eau réglementaire du réservoir ; ces ouvertures servent d'orifices aux branches ascendantes des gros siphons ; elles sont circulaires et fortement évasées en forme de pavillons, afin de supprimer la contraction et les pertes de charge qui en résultent.

Enfin, l'extrémité inférieure de la branche descendante de chaque gros siphon et de chaque amorceur traverse à joint étanche le mur postérieur, et vient plonger à l'aval dans un bassin dont le plan d'eau est à 6^m,58 en contre-bas de celui du réservoir et est maintenu à ce niveau par un petit barrage établi en travers de l'aqueduc de fuite.

Tête des amorceurs. — La tête des tubes amorceurs ne s'ouvre pas directement dans le grand réservoir, comme celle des gros siphons ; elle se trouve dans l'intérieur même du puits et y est disposée de manière que son orifice d'entrée ne soit complètement noyé que lorsque le plan d'eau s'élève à plus de 0^m,005 au-dessus de son niveau réglementaire.

Cette tête, largement évasée dans le sens horizontal, est munie d'une cloison ou paroi mobile intérieure qui tourne autour d'un axe vertical et qui permet de réduire ou d'augmenter à volonté l'ouverture de l'entrée, sans produire aucun changement brusque de section et en conservant toujours un évasement progressif bien ménagé.

Tout le système de cette tête peut, en outre, s'élever ou s'abaisser d'une seule pièce dans un joint étanche à dilatation libre.

En employant séparément ou en combinant entre eux chacun de ces deux moyens de règlement, et en les appliquant d'une manière plus ou moins différente à chacun des deux groupes de siphons, on peut faire varier dans des limites très-étendues la marche et le débit de l'appareil et, par conséquent, l'approprier le mieux possible aux besoins du service et au régime du cours d'eau retenu.

Ce règlement se fait, d'ailleurs, une fois pour toutes, et l'appareil fonctionne ensuite d'une manière tout à fait automatique, sans qu'on ait besoin de s'en occuper.

Marche de l'appareil. — L'appareil est habituellement inactif, parce que, généralement, le plan d'eau du réservoir se trouve au-dessous de son niveau réglementaire ; mais il entre immédiatement en fonction pour peu que ce niveau soit dépassé.

Tout d'abord, et tant que la surélévation n'atteint pas 0^m,005, l'écoulement ne s'opère que par simple déversement ; mais dès que la hauteur ci-dessus de 0^m,005 est atteinte, l'amorcement commence.

A ce moment, en effet, l'orifice d'entrée des petits siphons étant complètement noyé, l'appareil cesse complètement d'être en communication avec l'air extérieur ; le mouvement de l'eau entraîne alors tout l'air enfermé dans les petits siphons et aspire celui contenu dans les gros ; il en résulte que la pression de l'air diminue rapidement à l'intérieur et que la vitesse et le débit de l'eau augmentent très-vite. Mais bientôt il se produit un autre phénomène qui empêche la diminution de pression intérieure et l'augmentation correspondante de la vitesse de l'eau de continuer à s'accroître, et qui les arrête à une certaine limite d'équilibre pour chaque hauteur du plan d'eau.

En effet, la vitesse que prend l'eau en entrant dans les petits siphons détermine forcément, aux abords de cette entrée, une petite dénivellation ou dépression partielle dans le plan d'eau ; cette dépression, qui s'approfondit de plus en plus sous forme de tourbillon, au fur et à mesure que la vitesse de l'eau augmente, atteint et découvre bientôt une partie de l'orifice des petits siphons ; une certaine quantité d'air peut alors rentrer dans l'appareil et y détermine un relèvement de la pression de l'air intérieur, et, par suite, une diminution de la vitesse de l'eau ; mais, à leur tour, ce relèvement de la pression intérieure et cette diminution de la pression de l'eau ne peuvent dépasser une certaine limite ; autrement la dépression aux abords de l'entrée des petits siphons tendrait à s'effacer au fur et à mesure que la vitesse de l'eau diminuerait, et cette entrée se retrouverait bientôt entièrement noyée ; dès lors, il y aurait, de nouveau, de l'air entraîné sans qu'il y ait d'air extérieur introduit, ce qui reproduirait immédiatement les premiers effets indiqués, c'est-à-dire une nouvelle diminution de pression intérieure et une nouvelle augmentation de la vitesse de l'eau.

Ces deux tendances opposées produisent, après quelques oscillations, un état stable d'équilibre et un régime permanent dans lequel il y a écoulement simultané d'eau et d'air, et dans lequel la pression de l'air intérieur est d'autant plus faible et le débit d'eau d'autant plus fort que la surélévation du plan d'eau est plus grande. Lorsque cette surélévation atteint $0^m,05$, toute introduction et tout écoulement d'air cessent, et les siphons débitent alors à gueule-bée.

Le débit en eau de l'appareil croît ainsi au fur et à mesure que le plan d'eau du réservoir s'élève ; il est de 7 mètres par seconde lorsque la surélévation est de $0^m,05$.

A partir de ce moment, le débit évacué par l'appareil est égal et même un peu supérieur au plus fort débit que les crues puissent faire entrer dans le réservoir ; le plan d'eau ne peut plus, par conséquent, s'élever davantage ; sa surélévation maxima au-dessus de son niveau réglementaire est ainsi limitée à $0^m,05$.

Lorsque la crue diminue, puis cesse, les phénomènes s'opèrent dans l'ordre inverse : le plan d'eau s'abaisse peu à peu, la pression de l'air intérieur s'élève et le débit diminue jusqu'à ce que, enfin, le plan d'eau soit redescendu à son niveau réglementaire, moment à partir duquel l'appareil se désamorce entièrement et rentre dans le repos.

Avantages sur les autres systèmes. — Un des principaux avantages du déversoir-siphon de Mittersheim est d'être un appareil entièrement fixe qui, en temps ordinaire, ne laisse pas échapper la moindre quantité d'eau et qui, en temps de crue et au moment précis du besoin, fonctionne d'une manière tout à fait automatique sans l'intervention d'aucune espèce de manœuvre.

Ce système a paru préférable aux déversoirs ordinaires de superficie, qui laissent perdre beaucoup d'eau par les vagues et qui, à moins d'avoir une grande longueur (inadmissible ici), ne peuvent évacuer les crues qu'au moyen de vannes additionnelles manœuvrées par un garde dont la négligence peut occasionner les plus graves désastres.

Il a paru préférable aussi aux vannes automobiles, dont l'étanchéité est toujours plus ou moins imparfaite, et dont les articulations et autres organes se soudent par oxydation pendant leurs longs intervalles de repos, et se trouvent ainsi, au moment du besoin, dépourvues de toute sensibilité, si même elles ne sont pas alors complètement hors d'état de fonctionner.

L'emploi des siphons fixes pour évacuer le trop-plein des biefs ou réservoirs

n'est pas une idée entièrement nouvelle ; elle a été émise, il y a déjà longtemps, par M. l'ingénieur Girard, membre de l'Institut, et a même reçu une première application.

Mais les appareils qui ont été construits se composaient exclusivement de gros siphons dont l'amorçement et le désamorçement complets exigeaient de très-grandes variations du plan d'eau, soit au-dessus, soit au-dessous de son niveau réglementaire, ce qui présente un double inconvénient, parce que, d'une part, le grand exhaussement du plan d'eau peut compromettre les digues, et que, d'autre part, son grand abaissement fait perdre une portion importante de la réserve d'eau emmagasinée pour les besoins de la navigation.

Ce double inconvénient a été complètement évité dans les appareils de Mittersheim par l'addition des petits siphons auxiliaires qui remplissent le rôle d'amorceur et de désamorçeur et qui, pour toutes les phases de leur jeu, n'exigent, ainsi qu'on l'a vu, qu'une variation de 0^m,05 dans le plan d'eau, c'est-à-dire une variation des plus minimes.

Cette innovation est due à M. l'ingénieur ordinaire Hirsch.

Le déversoir-siphon et les autres ouvrages du réservoir de Mittersheim ont été projetés et construits sous la direction de M. Bénard, ingénieur en chef, par M. Hirsch, ingénieur ordinaire.

Digue en terre du réservoir de Panthier. — Le réservoir de Panthier est un de ceux qui concourent à l'alimentation du canal de Bourgogne.

Il ne contenait autrefois que 1 800 000 mètres cubes ; il a été remanié dans ces dernières années de manière à renfermer aujourd'hui 8 millions de mètres cubes.

La planche LIII donne la disposition de l'ancienne digue avant sa surélévation. C'est un modèle de digue pour retenue de faible hauteur.

La retenue normale n'était que de 7 mètres ; la hauteur de la digue était de 9 mètres ; elle était limitée, du côté d'aval, à un talus gazonné de 2 de base pour 1 de hauteur et, du côté d'amont, à un perré maçonné de 0^m,50 d'épaisseur, incliné à 5 de base pour 2 de hauteur.

Les figures donnent les dispositions de la bonde de fond, de la tour et du puisard qui servent à la manœuvre, ainsi que la disposition du déversoir de décharge. Les dessins sont suffisamment clairs pour que nous n'entrions pas dans une description plus détaillée.

Mais nous reproduirons la notice publiée par le ministère des travaux publics lors de l'Exposition de Vienne de 1873, notice dans laquelle sont exposées les dispositions prises pour l'agrandissement du réservoir de Panthier.

« Cinq grands réservoirs ont été construits dans le voisinage de Pouilly-en-Auxois, pour servir à l'alimentation du bief de partage et des deux branches du canal de Bourgogne, sur le versant de la Saône et sur le versant de l'Yonne.

La capacité de ces réservoirs est de 20 145 000 mètres cubes. Cette capacité ayant été reconnue insuffisante pour assurer à la navigation un mouillage normal de 1^m,80, l'administration a dû songer à l'augmenter, soit en agrandissant deux des réservoirs actuels, soit en établissant un nouvel ouvrage de ce genre dans la partie moyenne du versant de l'Yonne, de manière à porter le volume d'eau disponible à 30 000 000 de mètres cubes.

L'agrandissement du réservoir de Panthier a été terminé en 1873. Le nouveau réservoir pourra contenir 8 000 000 de mètres cubes, qui serviront exclusivement à l'alimentation des biefs du versant de la Saône. Sa superficie em-

brasse 150 hectares, et celle du bassin dont il reçoit les eaux est de 50 kilomètres carrés, pouvant fournir annuellement 11 000 000 de mètres cubes d'eau, à raison de 575 000 mètres par kilomètre carré, ainsi que l'ont démontré de longues observations locales.

Le réservoir de Panthier est établi dans le vallon où coule le ruisseau dont il tire son nom. Il affecte en plan la forme générale d'une ellipse, et se trouve limité à droite et à gauche par des coteaux, en amont et en aval par deux digues en terre qui s'y enracinent.

Une rigole, de 5570 mètres de longueur, y amène les eaux dérivées du ruisseau d'Échannay et de quatre ruisseaux secondaires ; un cinquième ruisseau, celui de Panthier, débouche directement dans le réservoir.

Les eaux du réservoir sont conduites dans le canal, au bief n° 10 du versant de la Saône, par une rigole de 2500 mètres, dans laquelle débouchent les deux aqueducs et rigoles d'alimentation.

Digue principale. — La digue principale du réservoir est construite en terre corroyée avec soin. Elle a 1250 mètres de longueur, 4^m,70 de largeur en couronne, et 15 mètres de hauteur au-dessus du terrain naturel dans sa partie centrale, laquelle mesure 550 mètres de longueur environ, et 70 mètres de largeur à la base. La hauteur de la retenue au-dessus du radier de l'aqueduc de vidange est de 13^m,60, et la revanche de la digue, au-dessus du plan d'eau, de 1^m,70, non compris 0^m,80 de parapet. Le talus extérieur de la digue est incliné à 2 mètres de base pour 1 mètre de hauteur ; son talus intérieur a 2^m,26 de base pour 1 de hauteur. Le premier est gazonné, le second est revêtu d'un perré de 0^m,50 d'épaisseur, maçonné en mortier, étagé par 4 gradins successifs, avec autant de banquettes de 5 mètres de largeur. La digue est en outre protégée par un mur d'étanchement de 1^m,50 d'épaisseur, descendu jusqu'à la masse rocheuse du lias, dans laquelle on l'a encastré de 0^m,50, et par une risberme de 6 mètres de largeur.

Enfin, pour limiter les glissements possibles, on a construit, à 40 mètres de distance les unes des autres, des cloisons en maçonnerie, de 1^m,50 d'épaisseur, supportées par deux larges arceaux.

Tour de prise d'eau et aqueduc de vidange. — L'ancienne tour de prise d'eau, qui occupait la partie centrale de la digue, a été dérasée au niveau de la seconde banquette.

Elle servira désormais à débiter la tranche d'eau inférieure du réservoir, sur 6 mètres de hauteur au-dessus du radier de l'aqueduc de vidange. Cet aqueduc a été prolongé, à cet effet, d'environ 50 mètres en aval et de 5 mètres en amont.

La nouvelle tour a été construite vers l'extrémité droite de la digue, et assise sur le coteau par motif de solidité et d'économie. Elle n'a que 10 mètres de hauteur au-dessus de la fondation. Elle comprend :

1° Un déversoir de superficie de 4 mètres de longueur, recouvert par une voûte et par une calotte surbaissées, qui supportent la plate-forme de l'ouvrage sur laquelle seront disposés les crics servant à la manœuvre des deux vannes supérieures.

2° Deux puits de prise d'eau, de 0^m,70 de largeur sur 1 mètre de hauteur, ayant leur seuil à 5 mètres en contre-bas de la retenue, et puisant directement l'eau dans le réservoir.

3° Un troisième puits de prise d'eau, ayant même section que les précédents et son seuil placé à 4^m,50 plus bas, soit 7^m50, en contre-bas de la retenue. Ce per-

tuis communique avec le réservoir par un long aqueduc voûté ayant 1 mètre de largeur et 1^m,80 de hauteur sous clef.

4^o Un grand puits demi-circulaire, de 4 mètres de diamètre, dans lequel viennent tomber les eaux du déversoir de superficie, celles des trois pertuis de prise d'eau, enfin celles du vallon de Panthier, qui autrement s'accumuleraient en amont de la digue secondaire et mineraient de vastes prairies que l'on a dû conserver à l'agriculture.

Un grand aqueduc, de 520 mètres de longueur sur 1 mètre de largeur et 1^m,80 de hauteur sous clef, amène dans ce puits les eaux dont il s'agit. Il est construit à flanc de coteau, dans l'intérieur même du réservoir, et à son ouverture d'amont, en dehors et près du point d'attache de la digue secondaire. Enfin toutes les eaux que reçoit le puits de la tour sont évacuées par un aqueduc suivi d'une rigole maçonnée qui les amène jusqu'à la rigole d'Esbornes, laquelle les rejette dans le canal du bief n^o 10 du versant de la Saône.

Digue secondaire. — La digue secondaire limite en amont le bassin du réservoir, en vue de conserver d'excellents et vastes-près à l'agriculture et de ne point créer de marais préjudiciables à la salubrité publique. Elle a 1200 mètres de longueur, 4^m,50 de largeur en couronne avec talus inclinés à 2 de base pour 1 de hauteur, et s'élève à 1^m,50 au-dessus du plan de la retenue. Sa hauteur maxima est de 6 mètres sur 2 de longueur environ; en cette partie elle mesure 28^m,50 de largeur à la base.

Le talus extérieur est gazonné et le talus intérieur revêtu d'un perré maçonné ayant 0^m,50 d'épaisseur moyenne.

La digue secondaire est traversée par un aqueduc de fond qui amène dans le réservoir les eaux du vallon de Panthier, et par une rigole de superficie qui y introduit celles du ruisseau du même nom. L'ensemble de ces ouvrages constitue la prise d'eau secondaire de Panthier.

Rigole de remplissage. — La rigole de remplissage a 3 370 mètres de longueur entre la prise d'eau d'origine, construite sur le ruisseau d'Echannay, et son entrée dans le réservoir. La pente totale, qui est de 9^m,70, se trouve rachetée par quatre chutes verticales et par cinq parties successives dont la pente varie de 0^m,0025 à 0^m,0042 par mètre. La section transversale de cette rigole a 2^m,50 de largeur au plafond, avec talus inclinés à 1 1/2 de base pour 1 de hauteur et une profondeur moyenne de 1^m,70. Deux digues de 2 mètres de largeur en couronne avec talus ordinaires à 1 1/2 complètent cette section.

Le débit de la rigole peut s'élever de 2^m,76 à 8^m,04 par seconde, avec une vitesse de 0^m,50 à 2^m,06, à mesure que le produit de la prise d'eau principale se grossit de celui des prises d'eau secondaires fournies par les affluents du ruisseau d'Echannay. Pour protéger la rigole contre les affouillements, on a dû revêtir son plafond d'un radier et ses talus de perrés maçonnés.

La rigole de remplissage traverse en souterrain plusieurs routes ou chemins, ainsi qu'un contre-fort de 250 mètres d'épaisseur. Elle reçoit dans son parcours les eaux de quatre ruisseaux assez importants, dont la traversée a nécessité la construction d'ouvrages d'art assez compliqués qui devaient satisfaire à la condition de laisser passer les eaux des crues sous la rigole ou de les recevoir à volonté dans celle-ci. De là, la nécessité d'établir un déversoir régulateur avec vanne complémentaire de décharge; un pertuis avec vanne de prise d'eau dans la levée droite de la rigole; une chute sur cette rigole immédiatement après le passage du ruisseau; enfin un pont pour le rétablissement des communications locales.

L'établissement du nouveau réservoir de Panthier a donc nécessité la construction d'ouvrages difficiles, compliqués et aussi nombreux que variés.

De l'ancien réservoir il n'a été conservé que le noyau en terre de la digue, qui a été incorporé dans la nouvelle digue, et l'aqueduc de vidange qu'on a dû prolonger de 55 mètres environ.

La dépense de cet ensemble d'ouvrage s'élève à 4 900 000 francs, savoir :

Travaux à l'entreprise.	4,251,000 francs.
Dépenses en régie.	511,000 —
Indemnité de terrain.	558,000 —
	<hr/>
Total pareil.	4,900,000 —

Les projets du réservoir de Panthier ont été rédigés, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Chenot, par l'ingénieur ordinaire Bazin.

5^e BARRAGES EN MAÇONNERIE

Pour les barrages en maçonnerie, nous décrivons le barrage des Settons, sur l'Yonne, le barrage du Furens près Saint-Étienne et celui du Ban près Saint-Chamond.

Barrage en maçonnerie des Settons (Yonne). — La navigation d'été ne se faisait autrefois sur l'Yonne qu'au moyen des éclusées que nous connaissons déjà.

Dès la fin du siècle dernier, on avait projeté la création, dans la partie haute de la vallée, de réservoirs destinés à emmagasiner l'excès des eaux d'hiver pour le faire servir aux éclusées d'été. En 1846, la création du réservoir des Settons, près Montsauche-en-Morvan, fut décidée; le travail, commencé en 1855, fut terminé en 1858 par M. l'ingénieur Cambuzat.

Le réservoir comprend une superficie de 400 hectares, et contient 22 millions de mètres cubes avec une retenue maxima de 18 mètres de hauteur. Le bassin peut se remplir deux fois par an; c'est donc 44 millions de mètres cubes que l'on emploie au mieux des intérêts de la navigation. Le réservoir des Settons est à l'altitude de 568 mètres, il correspond à un bassin granitique imperméable sur lequel il tombe annuellement 1^m,70 de pluie.

La figure 4 de la planche LIV représente la coupe transversale du barrage des Settons, coupe faite sur l'axe de l'aqueduc de fond.

« La vaste plaine des Settons est admirablement bien disposée pour l'établissement d'un grand réservoir; elle se termine vers l'aval par une gorge étroite dans laquelle a été construit le barrage de retenue: ce barrage est un simple mur de maçonnerie brute de granit avec mortier hydraulique encastré dans le rocher granitique; les couronnements des parapets, les angles des épanchoirs, etc., sont en pierre de taille de granit. L'épaisseur de ce mur est de 4^m,88 au couronnement et de 11^m,40 à la base avec un fruit de 0^m,44 par mètre à l'amont et de 0^m,505 par mètre à l'aval. Sur le parement d'aval sont adaptés des pilastres de 0^m,50 d'épaisseur destinés à couper le nu de cette grande surface.

La longueur du barrage au couronnement est de 271 mètres, et la hauteur totale entre le radier de la bonde de fond et le dessus du couronnement est de

20 mètres. Sur ce couronnement d'aval a été élevée une belle croix en granit qui a été bénite le jour de l'inauguration du réservoir, le 15 mai 1858.

Le barrage est percé par trois systèmes d'aqueducs ou épanchoirs, placés l'un au fond, l'autre à 6 mètres et le troisième à 12 mètres de hauteur ; chaque épanchoir est formé de cinq aqueducs ayant 0^m,70 de largeur et 1 mètre de hauteur, et ces aqueducs sont fermés par des vannes en bois qu'on manœuvre avec des crics, en se plaçant sur des plates-formes ménagées à l'amont du barrage. Pour les deux premiers épanchoirs les supports des crics sont fixés au mur ; mais le cric est mobile et on le descend du haut du barrage à l'aide d'une chaîne et d'une potence mobile ; on l'applique sur des coulisses qui permettent de le présenter au-dessus de chaque tige des ventelles qu'il embrasse au moyen d'un encliquetage ; on remonte ce cric avec la chaîne et la potence ; à l'épanchoir supérieur sont adaptés cinq crics fixes qui sont toujours au-dessus de l'eau.

L'épanchoir de superficie est formé de deux aqueducs ayant chacun 5 mètres d'ouverture et fermé par des poutrelles que l'on place à volonté.

Enfin à la sortie du déversoir et des deux épanchoirs supérieurs sont creusées des rigoles de fuite qui se réunissent dans le lit même de la Cure sur lequel est établi le premier épanchoir, celui du fond.

Un gardien intelligent manœuvre seul les épanchoirs ; il prend un aide pour manœuvrer les poutrelles du déversoir. Des ordres sont expédiés d'Auxerre à cet agent pour la quantité d'eau qu'il doit lâcher par seconde et pour la durée des lâchures ; on lâche ordinairement de 5 mètres cubes à 10 mètres cubes par seconde ; au delà de 10 mètres cubes l'eau causerait de trop grands désastres sur les propriétés riveraines en aval.

Depuis sa construction le barrage du réservoir des Settons n'a pas éprouvé le moindre mouvement, et cependant il a supporté plusieurs mois de suite la charge entière de 18 mètres. Immédiatement après sa mise en eau, c'est-à-dire en 1858 et 1859, il se manifesta au parement d'aval quelques suintements jusqu'à une hauteur de 9 à 10 mètres ; mais depuis la fin de l'année 1859 ils ont complètement disparu.

Bien que le réservoir n'ait été établi que pour favoriser le flottage et la navigation sur la rivière d'Yonne pendant l'été, c'est-à-dire à l'époque des basses eaux, il est cependant appelé à rendre d'autres services importants. Ainsi, comme on l'a dit plus haut, on donne chaque hiver, par pure tolérance, il est vrai, de 5 à 5 millions de mètres cubes d'eau au commerce pour faire écouler ses bois flottés à bûches perdues sur la rivière de Cure. De plus les nombreuses usines situées sur cette rivière, et qui jadis chômaient l'été, sont maintenant en grande activité toute l'année. Enfin si le réservoir n'est pas plein au moment d'un violent orage ou d'une grande pluie de plusieurs jours, il peut avoir une certaine action sur une crue de la Cure et même de l'Yonne ; mais il est malheureusement trop près de la source de la Cure (à 14 000 mètres), pour que son influence sur les crues soit très-considérable ; quand même le réservoir serait plein, comme il y a une revanche de 2 mètres au-dessus du niveau normal de la retenue et comme le barrage est fort solidement établi, il n'y aurait pas de danger à emmagasiner pour quelques jours seulement les eaux d'un orage exceptionnel, en ne laissant pas monter l'eau de plus de 1 mètre au-dessus du niveau normal de la retenue ; on arrêterait ainsi un volume d'eau de 4 à 5 millions de mètres cubes ; comme le bassin de la Cure en amont a une superficie de 4 400 hectares, cela correspondrait à une hauteur d'eau pluviale de

0^m,10; or on a remarqué que cette hauteur est celle que donne dans ces contrées le plus violent orage ou une forte pluie de plusieurs jours.

Barrage du gouffre d'Enfer (Furens). — Le Furens est une rivière torrentielle qui traverse la ville de Saint-Étienne. On a établi sur sa partie supérieure, au lieu dit le Gouffre-d'Enfer, un réservoir destiné :

1° A mettre fin aux inondations périodiques de la ville ;

2° A fournir en été le complément d'eau nécessaire à l'alimentation de Saint-Étienne ;

3° A augmenter en été le débit du Furens pour éviter le chômage des usines.

Ce réservoir est donc un puissant régulateur du débit de la rivière.

Nous avons décrit, dans notre *Traité des distributions d'eau*, les travaux exécutés à cet effet par la ville de Saint-Étienne; il nous reste à parler des travaux du barrage proprement dit. Nous prendrons pour guide la notice publiée par M. l'ingénieur en chef Graëff; nous rappellerons ici que les calculs du profil ont été faits par M. Delocre, et que M. Conte-Grandchamps avait rédigé l'avant-projet.

La figure 1 de la planche LI donne, d'après M. de Montgolfier, le plan général u réservoir et de ses annexes; les figures 2 à 4 de la planche LI représentent le plan, coupe et élévation du barrage.

Le barrage, de 50 mètres de hauteur, est au point B du plan; en A est la ventellerie de prise d'eau, établie dans le lit naturel du Furens, comprenant cinq vannes pour alimenter le réservoir par l'ancien lit du Furens, et cinq autres pour jeter les eaux dans le canal de dérivation ACGD qui est le nouveau lit du Furens et qui rejoint l'ancien au point D.

Un tunnel EH, perçant le contre-fort qui sépare la vallée du Furens de la vallée secondaire d'Issertine, sert à la vidange du réservoir; ce tunnel renferme deux conduites en fonte de 0^m,40 de diamètre, engagées à leur origine dans un bouchon en maçonnerie de 11 mètres de longueur qui isole le surplus du tunnel du réservoir.

Au point H les conduites débouchent dans un puisard qui envoie les eaux, soit à gauche dans un canal de prise d'eau des usines destiné à augmenter le débit du Furens, soit à droite dans un canal couvert s'embranchant avec l'aqueduc des eaux de la ville.

Au-dessus du tunnel de fond EH en est percé un autre FG, qui n'est qu'à 5^m,50 au-dessous du niveau maximum de la retenue et qui débouche dans le canal de dérivation; il sert à évacuer rapidement, après chaque crue, la tranche supérieure du réservoir, de 5^m,50 de hauteur, cette hauteur devant toujours rester libre pour emmagasiner le produit d'une crue rapide. Ce tunnel est fermé en tête par une vanne qui se manœuvre d'en haut.

En crue le débit du Furens s'élève à 151 mètres cubes par seconde, et l'inondation de Saint-Étienne commence au débit de 95 mètres cubes. Tout le volume écoulé au delà de ce débit doit être emmagasiné; la courbe des débits et des temps donne pour la valeur de ce volume 205 000 mètres cubes lors des crues étudiées. La hauteur de 5^m,50, réservée au-dessus du niveau normal, correspond à un cube de 400 000 mètres, cube calculé sur un relevé exact des courbes de niveau du terrain.

Le réservoir étant rempli jusqu'à la hauteur maxima de 50 mètres, contient 1 600 000 mètres cubes; retranchant les 400 000 mètres cubes qui doivent toujours rester disponibles pour l'emmagasinement des crues, il reste 1 200 000 mètres cubes de capacité à utiliser.

Le bassin du Furens, de 2500 hectares de superficie, recevant annuellement $0^m,85$ d'eau, ne donne au thalweg que $0,65$ de ce qu'il reçoit, soit 14 millions de mètres cubes par an. La ville de Saint-Étienne prend 150 litres par seconde, soit 5 millions de mètres cubes par an; reste 9 millions pour les usines, ce qui leur donnerait un volume régulier de 500 litres par seconde, si le réservoir était un régulateur parfait, c'est-à-dire s'il pouvait à chaque seconde soit emmagasiner l'excès de 500 litres, soit combler le déficit.

En réalité, pendant l'année 1869, le réservoir a permis de maintenir, pendant une sécheresse de 120 jours, le débit du Furens au chiffre de 200 litres par seconde.

Cela n'est pas suffisant, surtout en présence des besoins croissants de la ville, et, pour parfaire le système hydraulique de la vallée, on vient de construire un second réservoir en aval du premier, au pas du Riot, réservoir de 1 500 000 mètres cubes de capacité.

Examinons maintenant en détail les diverses parties du réservoir du Furens : *Ventellerie de prise d'eau*. — Les dix vannes ont $1^m,50$ de large et $2^m,50$ de hauteur; elles correspondent à un viaduc de dix arches du haut duquel se fait la manœuvre; les vannes sont en tôle de $0^m,01$ d'épaisseur, renforcée par cinq cornières horizontales portant à leurs extrémités des tasseaux en fonte guidant la vanne dans des coulisses en fonte rabotée; la cornière inférieure porte une fourrure en bois de chêne s'appliquant sur un seuil en chêne pour obtenir une fermeture étanche. Ces vannes ont coûté $0^f,80$ le kilogramme mises en place.

Lorsque le niveau du réservoir est au-dessous de $44^m,50$, les cinq vannes du réservoir sont seules ouvertes, tout le débit du Furens est absorbé et c'est le réservoir qui se charge d'alimenter les usines. Quand le niveau de $44^m,50$ est atteint, on ferme les cinq vannes précédentes et on ouvre les cinq vannes du canal de dérivation; celui-ci fonctionne seul tant que la hauteur de l'eau n'y arrive pas à 2 mètres, hauteur qui correspond à un débit de 90 mètres cubes à la seconde. Lorsque cette hauteur tend à être dépassée, on ouvre progressivement les vannes du réservoir qui constituent alors un ouvrage de décharge destiné à assurer la constance du niveau dans le canal de dérivation.

La ventellerie de prise d'eau a coûté 36 000 francs.

Canal de dérivation. — Le canal de dérivation a une largeur de $5^m,50$ au plafond, une profondeur de 5 mètres et une pente de $0,012$. Il est établi en grande partie dans le rocher, sauf sur une certaine longueur soutenue par un mur. Il a coûté 550 000 francs.

Ce canal aurait pu être évité; il suffisait de recevoir toujours le Furens dans le réservoir et d'assurer l'écoulement par le tunnel de vidange convenablement élargi; mais on était alors forcé d'introduire dans le réservoir même les eaux troubles qu'on laisse aller par le canal de dérivation.

C'est ce qui a été fait au réservoir de Saint-Chamond; mais pour diminuer les dépôts dans le grand réservoir, on reçoit d'abord les eaux dans un bassin antérieur d'épuration formé par un barrage de 8 mètres de hauteur.

Tunnel inférieur. — Le tunnel inférieur est ouvert à 8 mètres au-dessus du fond du réservoir; il a 2 mètres de hauteur sous clef et $1^m,80$ de large, avec une pente de $0,0001$; il renferme deux grosses conduites de $0^m,40$ de diamètre et une autre plus petite de $0^m,216$. Ces conduites sont encastrées près du réservoir dans un bouchon en maçonnerie occupant 11 mètres de longueur du tunnel. Il va sans dire que ces conduites sont munies de robinets-vannes chargés de régler le débit; en tête des conduites sont des valves de sûreté que l'on peut

manœuvrer du haut du réservoir afin de parer aux accidents qu'entraînerait une rupture de conduite.

Le tunnel de vidange a coûté 102.000 francs.

Tunnel supérieur. — Le tunnel supérieur, à 44^m,50 en contre-haut du fond, a une longueur de 65 mètres, une hauteur de 1^m,95 et une largeur de 1^m,50. Il est fermé en tête par une vanne en tôle de 1^m,50 de large sur 2 mètres de haut, dont le treuil de manœuvre se trouve dans la chambre qui contient aussi les appareils de manœuvre des valves de sûreté.

Le tunnel supérieur a coûté 18.000 francs.

Massif du barrage. — Il est entièrement en maçonnerie. « Son profil transversal, dit M. de Montgolfier, est formé, à l'amont et à l'aval, par des arcs de cercle tangents ou des lignes droites. Il présente à l'amont deux retraites de 1^m,25, l'une à 2 mètres au-dessus du fond de la vallée, l'autre à 5 mètres, et une troisième retraite de 2^m,465 à 47 mètres en contre-haut du fond, soit à 2^m,50 au-dessus du niveau de la retenue permanente. Le parement d'aval ne présente qu'une retraite de 4^m,50 à 47 mètres en contre-bas de la chaussée du barrage. A 0^m,90 au-dessus de cette retraite, l'épaisseur du barrage est de 33^m,70.

« Le mur de garde qui surmonte ce massif a 5 mètres de hauteur, 5^m,75 de largeur à la base et 3 mètres d'épaisseur au sommet qui est fixé à 2 mètres en contre-haut de la retenue maxima. »

Les pressions aux diverses hauteurs, sur les parois extérieures du massif, sont calculées et inscrites sur le profil en travers, figure 4. — Elles ne dépassent nulle part 6^{kg},50 par centimètre carré.

Plan du barrage. — Le barrage est sur plan courbe; sa convexité est tournée vers l'amont; l'axe de la chaussée supérieure est un arc de cercle de 252^m,50 de rayon, ayant 100 mètres de corde et 5 mètres de flèche. Le massif est un solide de révolution à axe vertical, de sorte que chaque section horizontale est limitée à deux arcs de cercle faciles à déterminer. L'implantation de l'ouvrage et le tracé de chaque section horizontale et des gabarits a été fait avec le plus grand soin.

Maçonnerie. — Le massif est en maçonnerie ordinaire; les parements constituent un opus incertum formé de moellons de choix, ayant 0^m,35 à 0^m,40 de queue. Il n'y a en pierre de taille que l'arête amont du massif et le couronnement du mur de garde.

Sur le parement d'aval, on voit neuf rangs de corbeaux en pierre de taille de 0^m,35 d'équarrissage et de 0^m,80 de queue, faisant saillie de 0^m,40 sur le parement. Ces corbeaux sont disposés en quinconce et les rangs espacés de 4^m,60.

Sur le parement d'amont, il y a treize lignes d'anneaux en fer espacés de 4 mètres. Les figures 2 et 4, planche LI, donnent les détails du couronnement et de la plinthe, ainsi que la disposition des arcades et culs-de-lampe supportant la plinthe.

Dans des ouvrages d'une telle hauteur, on n'a jamais à craindre d'accuser trop fortement la saillie et la vigueur du couronnement.

Les parapets laissent entre eux une chaussée de 2^m,04 de largeur, flanquée de deux trottoirs de 0^m,44.

Pour faciliter la construction du barrage, il fallait d'abord détourner les eaux; on a donc commencé par construire le canal de dérivation et la ventellerie de prise d'eau.

Les fouilles ont été entreprises alors; le barrage repose sur un granit fissuré.

On a enlevé toutes les parties tendres ou adhérentes, et la fouille a été approfondie de 1 mètre près des parements amont et aval afin de réaliser un solide encastrement.

Les maçonneries, commencées en 1862, ont été exécutées par assises de 1^m,50 de hauteur, s'étendant sur toute la surface pour éviter des tassements inégaux et des déchirures.

« Les moellons employés variaient de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{20}$ de mètre cube; ils étaient posés sur bain soufflant de mortier, bien assujettis au marteau les uns après les autres et calés dans tous les sens à l'aide de petites pierres mises constamment à la disposition de chaque maçon, et qu'on enfonçait dans les joints. Un moellon n'était abandonné que lorsqu'il ne remuait plus sous le pied. Les maçons travaillaient tous à la même assise qu'ils élevaient de toute sa hauteur sur 1^m,50; ils avaient soin de placer à la partie supérieure des pierres de choix ou bornes, qui étaient solidement encastrees dans le massif et présentaient des saillies de 0^m,50 à 0^m,40 de hauteur, destinées à assurer la liaison de l'assise exécutée avec la suivante.

« Lorsqu'une assise était terminée et qu'on en recommençait une autre, on nettoyait profondément les joints des pierres, on enlevait toutes les parties de mortier non adhérentes, et on lavait avec soin la surface; chaque maçon préparait ainsi 2 ou 5 mètres carrés de surface, et c'était sur cette surface fraîchement lavée et toujours vérifiée avec soin par les surveillants qu'il établissait sa maçonnerie. »

La maçonnerie des parements, exécutée toujours par les mêmes ouvriers, était élevée de 1^m,50 avant la maçonnerie de remplissage. Les moellons de parement bien calés en queue et bien adaptés les uns aux autres ne laissaient point sur la face vue des joints supérieurs à deux ou trois centimètres.

Au contact de la maçonnerie et du rocher, partout où on a rencontré des fissures, on les a ouvertes et on les a remplies avec un mortier à parties égales de ciment de Vassy et de sable. La surface entière du rocher était recouverte d'une couche de 0^m,03 à 0^m,05 de ce mortier dans lequel on implantait des pierres en saillie, afin d'obtenir une surface rocailleuse factice.

À l'amont du barrage, sur 25 mètres de longueur, on a mis à nu le rocher et on a recherché toutes les fissures afin de les boucher avec du mortier de ciment, comme nous venons de le dire. L'emplacement de ces fissures a été recouvert d'un enduit en ciment. Un bourrelet de ciment a été formé sur toute la ligne de séparation du barrage et du rocher à l'amont.

Ces précautions ont donné de bons résultats et on a fini par n'avoir sur le parement d'aval que les suintements dus à la porosité des pierres et des mortiers.

On n'a exécuté, pendant les six mois de chaque campagne, que 80 mètres cubes de maçonnerie par jour, soit 10.000 mètres cubes par an. Le travail a duré quatre ans, de 1862 à 1866.

Le barrage du Furens a coûté 902.000 francs. Le prix du mètre cube de maçonnerie ordinaire avec mortier de chaux du Theil était de 15 francs.

Dépense totale. — Le barrage avec ses travaux accessoires a donc coûté 1.408.000 francs. — Si on ajoute à cette somme 182.000 francs pour indemnités de terrain, on arrive à un total de 1.590.000 francs.

Le prix du mètre cube de réservoir est donc revenu à 1 fr. 15 c.

Barrage du Ban, sur le Gier, près Saint-Chamond. — Le barrage du Ban, sur le Gier, a été construit pour emmagasiner les eaux nécessaires à l'alimenta-

tion et aux besoins industriels de la ville de Saint-Chamond (Loire). — C'est sous la direction de MM. Graëff et Lagrange que ce barrage a été exécuté par M. l'ingénieur de Montgolfier. On conçoit donc qu'il présente les plus grandes analogies avec le barrage du Furens.

La planche LVI donne les dispositions principales du barrage du Ban. — La hauteur totale est de 47^m,80, la largeur libre du couronnement est de 4^m,90; elle sert de passage à un chemin de grande communication.

La largeur à la base est de 58^m,70. Les parements amont et aval se composent de lignes droites et d'arcs de cercle tangents.

Toutes choses égales d'ailleurs, le profil du Ban est plus hardi que celui du Furens parce que la pression maxima a été portée à 8 kilogrammes au lieu de 6^k,50 par centimètre carré.

Le massif est construit tout entier en maçonnerie ordinaire, faite avec de médiocres moellons schisteux.

La hauteur maxima de la retenue n'est que de 42 mètres au lieu de 50 mètres qui est la hauteur du barrage du Furens.

Il n'y a point de canal de dérivation, mais les eaux surabondantes s'écoulent par un déversoir de superficie, de 50 mètres de largeur, qu'on voit sur le côté gauche de l'élévation et sur le plan. Ce système, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut, a l'inconvénient d'admettre les eaux troubles dans le réservoir; mais cet inconvénient peut être combattu par un bassin d'épuration placé en amont du réservoir.

La prise d'eau se fait par un tunnel, dont la figure 3 représente la coupe en long; dans ce tunnel sont logées deux conduites en fonte de 0^m,40 de diamètre, travaillant alternativement; elles sont encastrées près du réservoir dans un bouchon en maçonnerie, de 28^m,27 de longueur, bouchon dont la figure 4 donne le profil moyen.

Chaque conduite est fermée en tête par une valve de sûreté et en aval par un robinet-vanne. Les eaux arrivent dans une rigole maçonnée d'où elles se rendent soit dans la rivière, soit dans l'aqueduc d'alimentation de la ville.

L'approche des matériaux a été faite au moyen d'un pont de service de 55 mètres de hauteur, à trois voies de wagons; avec ce pont on a élevé le massif jusqu'à 30 mètres, puis on a démoli le pont, et la charpente a servi à en établir sur la maçonnerie un autre de 15 mètres de hauteur, avec lequel on a achevé l'ouvrage. Par ce moyen on a pu exécuter 120 à 150 mètres cubes de maçonnerie par jour.

La dépense a été de 905.000 francs, dont 200.000 francs à la charge de l'État. L'aqueduc et la distribution d'eau ont coûté 450.000 francs. C'est donc en tout 1.205.000 francs à la charge de la ville.

En 1875, le produit de la vente d'une partie des eaux, le service public étant assuré, produisait déjà 85.000 francs. — Ces eaux sont excellentes pour la teinture et pour l'alimentation des chaudières à vapeur.

L'industrie de la ville a reçu un essor inespéré, et les résultats financiers de l'opération ont été vraiment merveilleux.

CHAPITRE V

ÉTAT DES VOIES NAVIGABLES DE LA FRANCE

HISTORIQUE

L'idée d'utiliser pour les transports les fleuves et les rivières, ces chemins qui marchent, remonte à l'origine des sociétés.

On commença par abandonner au fil de l'eau quelques pièces de bois, puis des radeaux qui, peu à peu, se perfectionnèrent; enfin, le tronc d'arbre creusé ne tarda pas à se transformer en barque.

Lorsque les Romains eurent conquis les Gaules, ils établirent une navigation assez active sur la plupart de nos rivières. Marius fit même construire, 102 ans avant l'ère chrétienne, le canal d'Arles, entre le Rhône et la mer.

L'invasion des barbares dut arrêter l'essor de la navigation fluviale; le premier, Charlemagne se préoccupa de la rétablir et de l'assurer. A cette époque, en effet, les voies de terre étaient si peu nombreuses et si défectueuses, que les transports par eau devaient prendre nécessairement une grande importance.

Les bateliers, ne pouvant résister aux pillages et aux vexations des seigneurs féodaux s'ils restaient isolés les uns des autres, se réunirent en corporation.

Au douzième siècle, existait sur la Seine la *hanse des marchands de l'eau de Paris*, et sur la Loire, la corporation des marchands navigateurs qui, à partir de 1402, fut autorisée, par lettres patentes du roi, à percevoir un droit de péage sur les marchandises transportées. Ce droit fut affecté, par Louis XI, aux réparations de la rivière.

M. Krantz, dans un de ses remarquables rapports à l'Assemblée nationale, résume par les lignes suivantes les perfectionnements successifs de nos voies navigables :

« Dans l'origine, on utilisait les rivières comme on le pouvait, et principalement à la descente. Le flottage, aujourd'hui si délaissé, était un des principaux moyens d'approvisionnement des grands centres de population. Sur le Rhin, le passage des grandes flottes, destinées à la Hollande, était un événement; sur la Seine, sur la Marne, sur l'Yonne, le flottage était surveillé et protégé par les

pouvoirs publics. La batellerie utilisait aussi les chemins qui marchent : mais, en raison de leur état, elle restait précaire, intermittente et naturellement coûteuse.

« L'invention des écluses, au commencement du seizième siècle, a ouvert à la navigation intérieure une ère nouvelle ; d'une part, sur les rivières, on a pu supprimer presque partout les pertuis, qui rendaient le passage des bateaux si pénible et si dangereux¹ ; d'autre part, on a pu construire des canaux, non-seulement le long des vallées, mais encore d'un bassin à l'autre. Il est bien vrai qu'en Chine on a construit et exploité, de temps immémorial, des canaux très-importants, sans le secours des écluses ; mais, en fait, ces canaux ne peuvent être et ne sont que des rivières artificielles, à pentes très-douces. Le véritable canal est contemporain de l'écluse, qui constitue son organe essentiel. Il présente, comme sécurité, régularité et économie, un avantage que le commerce a de suite apprécié, et qui lui a assuré la supériorité sur les rivières, telles qu'elles étaient alors.

« Les rivières ont eu aussi leur tour. En accolant des écluses aux barrages, qui créaient des forces motrices pour les moulins, et en même temps constituaient des biefs sans vitesse et à forts mouillages, on a pu transformer les rivières en véritables canaux, faciles à parcourir dans les deux sens. Aux anciens barrages, on en a ajouté de nouveaux, et enfin, depuis une quarantaine d'années, on est parvenu à rendre ces barrages mobiles, c'est-à-dire à les effacer au moment des crues et à faire disparaître ainsi tous les inconvénients qu'ils présentaient. Ce progrès essentiel a rendu, pendant quelque temps, la faveur aux rivières.

Mais, stimulée par la concurrence des chemins de fer et les exigences du commerce, la batellerie réclame chaque jour de plus forts mouillages et une plus grande régularité de tenue d'eau. Les canaux paraissent, à ce point de vue, reprendre l'avantage, malgré leur prix plus élevé. La lutte continue et, au travers de ces oscillations de l'opinion, une vérité apparaît ; c'est que les rivières à pentes douces, à débit régulier, coûtent moins cher à améliorer que les canaux ne coûteraient à établir, et rendent autant de services. Nos rivières du Nord, notamment l'Oise, l'Aisne, la Marne, la Moselle, le montrent suffisamment. Par contre, les rivières à pentes fortes, à débit tourmenté, coûtent beaucoup plus cher que les canaux, et sont loin de fournir d'aussi bons instruments de transport. Exemple : le Lot, le Tarn, la Mayenne.

« Il y a donc un sérieux diagnostic à établir sur la nature d'une rivière avant d'entreprendre sa transformation, et, en général, on n'a rien à gagner à tenter pareille entreprise sur des rivières à pente forte et à débit désordonné. Il vaut mieux, surtout dans le Midi, se borner à demander à ces espèces de torrents des eaux d'irrigation et des forces motrices. Bornées à ce rôle, les rivières pourront encore rendre de très-grands services à notre agriculture et à notre industrie ; elles créeront des produits que d'autres voies transporteront.

« Est-il besoin d'ajouter que la transformation d'une rivière doit être faite de manière à utiliser, au fur et à mesure, les travaux successivement exécutés ? Ceci paraît évident, et la commission se dispenserait de le dire, si elle n'avait reconnu que, par suite de pressions et d'influences locales, cette règle si simple avait été fréquemment méconnue. »

Les écluses, importées en France par Léonard de Vinci, furent essayées sur la

¹ Il reste encore des pertuis sur quelques rivières de France, notamment dans l'ouest, et l'on peut apprécier les inconvénients qu'ils présentent.

Vilaine vers 1550; elles permirent la construction du canal de Briare, commencée par Sully (1605).

C'est à cette époque qu'on inaugura le régime des concessions; le Trésor n'étant pas assez riche pour faire par lui-même, on autorisait des particuliers à exécuter à leurs frais les grands travaux publics, et pour les récompenser des dépenses faites, on leur octroyait des droits de péage et des privilèges honorifiques.

La plus grande voie de ce genre, le canal de Languedoc, aujourd'hui canal du Midi, fut concédé en 1662, par Colbert, à Pierre-Paul Riquet.

En 1679, le duc d'Orléans, frère de Louis XIV, obtint la concession du canal d'Orléans. Colbert disait à cette époque : « Les ouvrages concernant la navigation des rivières sont d'un si grand avantage pour les peuples, qu'il ne faut pas hésiter à y faire travailler promptement en ce temps de paix. »

L'impulsion, ralentie à la fin du règne de Louis XIV, recommença au dix-huitième siècle, au moment où l'on organisa le corps des ponts et chaussées. Le système des concessions fut appliqué pour les canaux du Loing (1719) et pour le canal de Saint-Quentin à Chauny ou canal Crozat (1752).

Sous Louis XVI, un arrêt du conseil plaça dans le domaine public, c'est-à-dire sous la protection du roi, tous les ouvrages ayant pour objet la sûreté et la facilité de la navigation et du halage.

En 1783, les États de Bourgogne concédèrent le canal du Charolais, aujourd'hui canal du Centre, le canal de Bourgogne et le canal de Franche-Comté, reliant la Saône et le Doubs.

En 1784, le canal du Nivernais fut aussi commencé.

Interrompus par la Révolution, vigoureusement repris pendant les premières années du dix-neuvième siècle, puis interrompus à nouveau par les désastres de la fin de l'Empire, les travaux de navigation attirèrent sérieusement l'attention du gouvernement de la Restauration qui leur donna un nouvel essor. Sous le règne de Louis-Philippe, 2000 kilomètres de canaux furent ouverts, et on commença de s'occuper de l'amélioration des rivières naturelles.

Sous Napoléon III, les voies navigables se trouvèrent effacées et comme placées au second plan par les chemins de fer, qui s'ouvrirent de toutes parts. On reconnaît aujourd'hui que le nouvel instrument de transport ne peut suffire seul à sa tâche, et qu'il y a place à la fois pour les canaux et les chemins de fer, ces deux genres de voie ayant chacun leur caractère propre.

De 1814 à 1870, la France a dépensé pour ses voies navigables :

En travaux extraordinaires.	740.209.000 francs.
En travaux ordinaires.	427.006.000 —

Soit un total de. 1,175.215.000 —

Nous allons examiner ci-après la situation des voies navigables de la France, en parcourant successivement les bassins de la Seine, du Rhône, de la Garonne, de la Loire ainsi que les bassins secondaires.

Ce travail eût été impossible si nous n'avions eu à notre disposition les intéressants rapports détaillés que M. Krantz a présentés à l'Assemblée nationale au nom de la Commission d'enquête sur les moyens de transport de la France; ce sont ces documents qui nous ont fourni presque toute la matière de ce qui va suivre. L'Étude historique et statistique sur les voies de communication de

la France, rédigée par M. l'ingénieur Lucas, nous a donné aussi de précieux renseignements, ainsi que le travail de M. Larue, chef du service des transports du Creusot.

I. Bassin de la Seine

« Le réseau des voies navigables dont la Seine forme l'artère principale, est, dit M. Krantz, sinon le plus parfait, du moins le plus considérable que nous possédions. L'importance qu'il a présentée de tout temps au point de vue de l'approvisionnement de Paris, explique la sollicitude dont il a été constamment l'objet. »

On peut reconnaître dans ce réseau quatre groupes principaux, savoir :

1° Oise canalisée et canaux y aboutissant.	565	kilomètres.
2° Marne et canaux la reliant à l'Aisne, à la Meuse, à la Moselle et au Rhin.	678	—
3° Yonne; canaux du Nivernais et de Bourgogne.	554	—
4° Haute et basse Seine et canaux la reliant à la Loire.	774	—
	2551	—
Longueur totale du réseau.		

1° GROUPE DE L'OISE

Le groupe de l'Oise comprend :

1° Le canal de Saint-Quentin.	96.550	mètres.
2° La Sambre canalisée et le canal de la Sambre à l'Oise.	121.478	—
3° Aisne et canal des Ardennes jusqu'à la Meuse.	208.000	—
4° Oise canalisée, canal latéral et canal Manicamp.	158.890	—
	564.718	—
Longueur totale du groupe		

1. Canal de Saint-Quentin. — Le canal de Saint-Quentin a son origine à Cambrai, où il se soude à l'Escaut; il se termine à Chauny, sur l'Oise, où il se soude au canal Manicamp, d'une part, et au canal de l'Oise à la Sambre, d'autre part; il s'embranché, à Saint-Simon, avec le canal de la Somme.

Il réunit donc les bassins de l'Escaut, de la Sambre, de la Somme et de l'Oise.

La jonction de la Somme à l'Oise, concédée à M. de Marcy en 1724, le fut à nouveau, en 1752, au sieur Crozat, qui livra à la navigation, en 1758, le canal qui longtemps porta son nom. Le canal Crozat fut racheté par l'État en 1767.

L'autre partie du canal actuel de Saint-Quentin, entre cette ville et la Somme, entreprise en 1769, par le Trésor, fut achevée en 1810 par l'ingénieur Gayant.

Si l'on part du bief de partage du canal de Saint-Quentin, et qu'on descende successivement vers l'Oise, vers la Somme et vers l'Escaut, on trouve :

Du côté de l'Oise une chute de 25 ^m ,44 rachetée par 10 écluses,				
— la Somme —	16 ^m ,09	—	8	—
— l'Escaut —	50 ^m ,07	—	17	—

La largeur des écluses entre Chauny et Saint-Quentin est de 6^m,40 à 6^m,70, avec une longueur utile de 58^m,80; entre Saint-Quentin et Cambrai, la largeur est de 5^m,20, et la longueur utile de 55 mètres.

En 1868, le tonnage rapporté au parcours entier a été de 1 600 000 tonnes.

Le canal de Saint-Quentin a coûté 266 000 francs par kilomètre.

L'alimentation du canal est bonne et n'a pas exigé la construction de réservoirs.

Le mouillage est établi à 2^m,20.

Tout serait satisfaisant si la longueur des écluses était portée à 42 mètres.

2. Sambre canalisée et canal de la Sambre à l'Oise. — En 1796, lors du siège de Namur, les fournisseurs de l'armée française canalisèrent la Sambre en construisant des ouvrages provisoires.

Ces ouvrages, entretenus jusqu'en 1747, furent ensuite abandonnés, et, au commencement du siècle, la Sambre était devenue impropre à la navigation.

Une loi de 1824 concéda la canalisation de la Sambre de Landrecies à la frontière belge; la concession prend fin en 1890.

La dépense a été de 55 447 francs par kilomètre, et l'élévation des droits de péage est telle que le produit est de 18 pour 100 du capital primitif; cela s'oppose au développement du trafic.

La longueur de la Sambre canalisée est de 54 446 mètres.

La chute totale de 11^m,59 est rachetée par 10 écluses de 5^m,20 de large et de 41^m,50 de longueur utile.

Le mouillage est de 2 mètres, et l'alimentation est faite en partie par des machines qui remontent l'eau d'un bief à l'autre.

Canal de la Sambre à l'Oise. — Étudié dès 1763, le canal de la Sambre à l'Oise fut concédé par la loi du 24 mars 1825, et la concession n'expire qu'en 1957.

La longueur du canal entre Landrecies et la Fère est de 67.052 mètres.

La chute vers la Sambre est de 5^m,60 rachetée par 5 écluses.

— vers l'Oise —	89 ^m ,48	—	55	—
-----------------	---------------------	---	----	---

Les écluses, d'un excellent type, ont 5^m,20 de largeur sur 42 mètres de longueur utile.

Malheureusement, le mouillage n'est que de 1^m,60, et la compagnie concessionnaire ne fait rien pour l'améliorer.

En 1868, les transports rapportés au parcours entier ont été de 655 000 tonnes.

C'est une grande infériorité par rapport aux canaux voisins, infériorité qui a sa cause dans l'élévation des droits.

En effet, un bateau charbonnier de 250 tonnes paye les droits suivants pour venir de Charleroy à Paris :

Au gouvernement belge, 40 kil. de parcours sur la Sambre.	75 ^{fr} ,00
Aux concessionnaires de la Sambre et du canal de la Sambre à l'Oise (125 kil.)	712 ^{fr} ,50
Au gouvernement français, 184 kil. entre la Fère et la Briche.	102 ^{fr} ,50
Aux concessionnaires du canal Saint-Denis (7 kil.)	150 ^{fr} ,00
Total.	1040 ^{fr} ,00

Cela fait 4^r,16 par tonne, plus de la moitié du fret courant.

La part prise par les trésors belge et français n'est guère que le cinquième. Le canal de la Sambre à l'Oise a coûté 188 600 francs le kilomètre, et rapporte 6^r,40 pour 100 de ce capital.

On ne peut forcer les compagnies à réduire leur tarif de péage; mais le commerce souffre beaucoup, et la concurrence avec le chemin de fer du Nord est impossible par les canaux. Aussi, le rachat des canaux par l'État est-il vivement réclamé.

En capitalisant le produit annuel de la Sambre canalisée et du canal, et en tenant compte du temps de concession restant à courir, on trouve que le rachat exigerait un capital de 22 millions de francs, soit une charge annuelle de 1 100 000 francs, que les dépenses d'entretien porteraient à 1 230 000 francs; avec le tarif de 0^r,005 par tonne et par kilomètre il ne serait que de 500 000 francs.

C'est donc pour l'État une dépense annuelle de 730 000 francs.

Il est vrai que cette dépense déterminerait sur l'ensemble des transports une économie annuelle de 2 400 000 francs.

3. Aisne et canal des Ardennes. — La ligne de l'Oise à la Meuse comprend l'Aisne canalisée, le canal latéral de l'Aisne et le canal des Ardennes.

Aisne canalisée. — Ouverte en 1845, l'Aisne canalisée a une longueur de 56 500 mètres, avec une pente totale de 9^m,80, rachetée par 7 barrages avec écluses de 8 mètres de large et de 46 mètres de long.

La largeur de ces écluses aurait pu être limitée à 5^m,20.

Le mouillage n'est que de 1^m,60; il oblige les bateaux venant de l'Oise à rompre charge; cet inconvénient pourrait être corrigé sans grande dépense.

Les crues fréquentes de l'Aisne gênent souvent la batellerie; aussi réclame-t-on la construction d'un canal de l'Aisne à l'Oise.

Le trafic annuel rapporté au parcours entier est de 670 000 tonnes.

Canal latéral à l'Aisne. — De Condé sur Vailly à Vieux-lès-Asfeld, le canal latéral à l'Aisne a une longueur de 51 500 mètres.

Sa pente totale est de 17^m,40, rachetée par 7 écluses, qui ont 5^m,20 de largeur, avec 37 mètres de longueur utile.

Le mouillage, de 1^m,80, pourrait être facilement porté à 2 mètres.

Dépense moyenne de construction par kilomètre, 115 000 francs.

Le trafic annuel rapporté au parcours entier est de 430 000 tonnes.

Canal des Ardennes. — Le canal des Ardennes continue le canal de l'Aisne jusqu'à Pont-à-Bar, sur la Meuse; sa longueur est de 87 900 mètres.

De Semuy, il lance sur Vouziers un embranchement de 12 100 mètres. Projeté sous Louis XIV, ce canal ne fut concédé qu'en 1776, au prince de Conti. Les événements forcèrent à l'ajourner jusqu'en 1821.

Il a coûté 146 800 francs par kilomètre, et appartient à l'État.

La chute depuis le bief de partage jusqu'à la Meuse est de 17^m,15, rachetée par 7 écluses; jusqu'à l'Aisne, à Vieux-lès-Axfeld, elle est de 108^m,28, rachetée par 37 écluses.

La pente de 8^m,70 sur l'embranchement de Vouziers est rachetée par 4 écluses.

Les écluses ont 5^m,20 de large et 33^m,80 de longueur utile.

Le mouillage ne dépasse pas 1^m,60.

Les bateaux longs du Nord ne peuvent donc circuler sur ce canal et les autres sont forcés de rompre charge; cette voie ne rend donc pas les services qu'on

pourrait en attendre, et il est de première urgence de l'améliorer en portant le mouillage à 2 mètres et la longueur des écluses à 42 mètres.

Le trafic rapporté au parcours entier est de 116 500 tonnes.

4. Canal de l'Oise et l'Oise canalisée. — De Chauny à Conflans-sur-Seine s'étend la voie navigable la plus importante de France après la Seine. Elle comprend le canal Manicamp, le canal latéral à l'Oise et l'Oise canalisée.

Le canal Manicamp, ouvert en 1822, de Chauny à Manicamp, a 4851 mètres de long, et a coûté 500 000 francs.

Le canal latéral fait suite au précédent et débouche dans l'Oise à Janville. Ouvert en 1851, sa longueur est de 28 859 mètres, et sa pente totale de 10^m,60, rachetée par 4 écluses de 6^m,50 de largeur et de 40 mètres de longueur utile.

La canalisation de l'Oise, achevée en 1856, a été obtenue par sept barrages éclusés et par des dragages.

L'Oise canalisée a une longueur de 105 200 mètres; sa pente totale est de 11^m,23, soit 0,105 en moyenne par kilomètre.

Les écluses ont 8^m,50 de large et 51 mètres de long, dimensions anormales. Le mouillage est de 2 mètres au minimum.

La dépense pour obtenir la belle voie navigable formée par le canal latéral et l'Oise canalisée n'a été que de 44 648 francs par kilomètre, soit 6 161 511 fr. en totalité.

Le produit net des droits perçus par l'État est de 426 200 francs, soit 7 p. 100 du capital dépensé.

Le trafic annuel, rapporté au parcours entier, est de 1 680 000 tonnes.

2^e GROUPE DE LA MARNE

« Le groupe des voies navigables du bassin de la Marne, dit M. Krantz, a eu, de tout temps, une grande importance au point de vue de l'approvisionnement de Paris. Aussi est-il un des plus complets que nous possédions.

« Les chemins de fer établis dans la vallée lui ont enlevé une partie de son ancien trafic, mais le mouvement des marchandises s'est développé dans une telle mesure que, sans nuire aux voies ferrées, les voies navigables concurrentes peuvent encore effectuer des transports considérables.

« Il y a dans cette zone largement place pour les deux sortes de voies de communication. »

Le groupe de la Marne comprend :

1 ^o La Marne et ses dérivations entre Dizy et Charenton.	177.690 mètres.
2 ^o La rigole du Grand-Morin qui alimente le canal de Meaux à Chalifert.	5.400 —
3 ^o Le petit canal Cornillon, établi dans les fossés de Meaux.	450 —
4 ^o Le canal latéral à la Marne, de Dizy à Vitry et Donjeux.	157.600 —
5 ^o Le canal de l'Aisne à la Marne.	58.500 —
6 ^o Le canal de la Marne au Rhin, entre Vitry et la nouvelle frontière.	192.000 —
7 ^o Le canal de l'Ourcq, qui concourt à l'alimentation de Paris.	109.050 —
Total.	677.880 —

1. Marne et dérivation de la Marne. — La Marne est depuis longtemps

classée comme navigable entre Saint-Dizier et son embouchure dans la Seine à Charenton, sur 500 650 mètres de longueur.

Sur cette longueur, la pente totale est de 118 mètres, d'où une pente moyenne de 0^m,38 par kilomètre ; entre Saint-Dizier et Vitry la pente est de 0^m,76 par kilomètre ; entre Vitry et Lagny elle descend à 0^m,17, puis augmente de Lagny à Charenton ; entre le canal de Saint-Maur et la Seine elle atteint 0^m,59.

Les débits de la Marne en étiage et en hautes eaux varient dans les limites ci-après :

	CUMIÈRES.	CHATEAU-THIERRY.	MEAUX.	SAINTE-MEUR.
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.
Étiage.	7	8	9	15
Hautes eaux. . .	800	950	1000	1500

Les débits d'étiage ont diminué de moitié par rapport aux anciennes évaluations.

On voit que par sa pente et sa grande variation de débit la Marne était naturellement une mauvaise voie navigable.

On l'a rendue « bonne, mais non parfaite », grâce aux travaux exécutés.

Par suite de la présence des hauts-fonds, le mouillage en étiage s'abaissait à 0^m,10 entre Saint-Dizier et Vitry et à 0^m,56 entre Saint-Maur et Charenton. — Aussi, la navigation ne pouvait-elle s'effectuer qu'en eaux moyennes et il fallait attendre le moment propice.

On a coupé les principales boucles par des dériviations ou canaux qui sont, en partant de la Seine :

Le canal de Saint-Maurice (5899^m), le canal de Saint-Maur (1072^m), le canal de Chelles (8877^m), le canal de Meaux à Chalifert (12 558^m), le canal Cornillon (425^m), la dérivation de Vandières (555), le canal de Damery (1774^m), le canal de Cumières (825^m).

Il en résulte pour les dériviations une longueur totale de 29 745 mètres.

Le plan d'eau a été relevé au moyen de 14 barrages éclusés, avec déversoirs mobiles du système Desfontaines. On a donné aux écluses une largeur de 7^m,80, afin de conserver à la batellerie ses anciens modèles, petites économies en regard d'une grande dépense.

On avait voulu obtenir un mouillage minimum de 1^m,60 permettant un tirant d'eau de 1^m,40. — Mais pour cela il a fallu et il faut sans cesse exécuter d'importants dragages pour enlever les dépôts formés par les eaux limoneuses de la Marne.

Les canaux de dérivation, surtout de Meaux à Chalifert, sont en outre sans cesse encombrés de joncs et d'herbes aquatiques.

De là une grande dépense d'entretien.

Le trafic, rapporté au parcours entier, est de 144 000 tonnes. — La dépense d'amélioration entre Dizy et Charenton s'est élevée à 21 200 000 francs, soit 120,000 francs par kilomètre.

2. Rigole du Grand-Morin. — Cette rigole alimente le bief principal du canal de Meaux à Chalifert en lui amenant les eaux prises au Morin à Couilly. — Le trafic n'y est que de 5800 tonnes au parcours entier.

3. Canal Cornillon. — Il permet aux bateaux de passer de l'amont à l'aval de Meaux en évitant les ponts et les pertuis des Moulins. — Depuis l'ouverture du canal de Meaux à Chalifert, le canal Cornillon n'est plus guère fréquenté que par les trains de bois.

4. Canal latéral à la Marne entre Dizy et Donjeux. — La première partie, de Dizy à Vitry, terminée en 1845, a 65 100 mètres de longueur ; elle a coûté 127 000 francs le kilomètre.

Elle remplace une section de 99 kilomètres de rivière naturelle où la navigation était fréquemment interrompue et toujours pénible.

Pente totale : 28^m,07, rachetée par 14 écluses de 5^m,20 de largeur et de 38^m,50 de longueur utile.

Le trafic, rapporté au parcours total, a été de 375 000 tonnes en 1868.

La seconde partie, de Vitry à Donjeux, d'une longueur de 70 400 mètres, est en voie d'achèvement : c'est l'amorce du canal de jonction de la Marne à la Saône. — La dépense de construction est évaluée à 250 000 francs par kilomètre.

5. Canal de l'Aisne à la Marne. — Ce canal, partant du canal latéral à l'Aisne, à Berry-au-Bac, remonte la Vesle et gagne les plateaux crayeux de la Champagne ; il tombe à Condé dans le canal latéral à la Marne.

Sa longueur est de 58 kilomètres ; la somme des hauteurs sur les deux versants est de 64^m,38, rachetée par 24 écluses de 5^m,20 sur 37 mètres.

Livré en 1866, il a coûté 355 000 francs par kilomètre.

Il a nécessité d'importants travaux d'étanchement et son alimentation est assurée par des machines qui refoulent l'eau de la Marne jusqu'au bief de partage.

Il y aurait lieu, suivant M. Krantz, de porter la longueur des écluses à 42 mètres et d'assurer un tirant d'eau de 2 mètres.

Cette voie dessert une active circulation.

6. Canal de la Marne au Rhin. — Dirigé de l'ouest à l'est, il relie les vallées de la Marne, de la Meuse, de la Moselle, de la Meurthe et de la Sarre. Il part du canal latéral à la Marne, en amont de Vitry, et débouche dans l'Ill au-dessous de Strasbourg, en face du canal d'Ill au Rhin.

Nous avons perdu 120 kilomètres de cette voie qui, pour nous, s'arrête aujourd'hui à 50 kilomètres au delà de Nancy.

Le canal de la Marne au Rhin a été construit de 1839 à 1853 ; il a coûté 237 500 francs le kilomètre.

La ligne principale a une longueur de 315 055 mètres et les deux embranchements de Toul et d'Houdelaincourt ont 4874 mètres.

180 écluses de 5^m,20 de large et de 38^m,10 de longueur utile rachètent les chutes dont le total est de 470 mètres. — On peut regretter que la longueur d'écluse n'ait pas été portée à 42 mètres.

Une alimentation bien assurée donne un mouillage de 1^m,50 au minimum.

En 1868 le trafic, rapporté au parcours entier, a été de 377 000 tonnes ; le canal présente le grand avantage d'une circulation à peu près égale dans les deux sens.

7. Canal de l'Oureq. — Dès 1528 la rivière de l'Oureq était considérée comme navigable.

La loi du 29 floréal an X décréta la construction du canal de l'Oureq en même temps que celle du canal de Saint-Denis. La concession de ce travail fut accordée en 1802 à la ville de Paris, et les travaux ne furent terminés qu'en 1826. — On les compléta en 1841, et dans ces dernières années on assura l'alimentation au moyen de machines puisant l'eau dans la Marne.

La rivière de l'Ourcq, navigable entre Port-aux-Perches et Mareuil, a	11.127 mètres.	
La dérivation du Clignon.	1.200	—
Le canal de l'Ourcq.	96.756	—
	<hr/>	
Longueur totale de la voie.	108.956	—

Il y a 15 écluses, dont 8 sur le canal, ayant pour but de régler la vitesse de l'eau (voir le mémoire de Girard).

Les écluses en rivière ont 5 mètres sur 65 mètres et celles du canal 5^m,20 sur 58^m,80. — Ces inégalités de dimensions ne se justifient pas. — Le mouillage est de 1^m,40.

Néanmoins, le canal de l'Ourcq est précieux : il dessert une importante circulation, 268 000 tonnes au parcours entier en 1868 ; il concourt à l'alimentation d'eau de Paris et il alimente les canaux Saint-Denis et Saint-Martin.

Observations générales. — Le groupe de la Marne a le grave inconvénient de présenter des écluses de dimensions discordantes et un mouillage variable qui n'atteint pas toujours 1^m,60.

La batellerie ne semble pas pouvoir lutter avec les chemins de fer à moins d'un mouillage de 2 mètres.

Le canal de l'Ourcq est un exemple du parti qu'on peut tirer, en bien des cas, des voies d'eau à petite section, en grand usage en Angleterre.

5° GROUPE DE L'YONNE

« Par sa direction, l'étendue de son bassin, le volume de ses eaux, les communications qu'elle dessert, les affluents navigables qu'elle reçoit, l'Yonne est assurément la plus importante des deux rivières qui se réunissent à Montereau, et elle aurait mérité de donner son nom au beau fleuve qu'elles constituent. — Il n'en a pas été ainsi ; mais, malgré cette sorte d'injustice géographique, nous devons, au point de vue de la navigation, considérer l'Yonne comme la véritable mère de la Seine.

« Navigable jusqu'à Auxerre, elle se prolonge vers la Loire par le canal du Nivernais et vers le Rhône par le canal de Bourgogne. »

Le réseau de l'Yonne comprend donc trois voies, qui sont :

1° L'Yonne canalisée entre Montereau et Auxerre.	418 kilomètres.
2° Le canal de Bourgogne.	242 —
3° Le canal du Nivernais.	174 —
	<hr/>
Total.	534 —

1. Yonne canalisée. — Flottable à bûches perdues sur 76 kilomètres à partir de sa source, et flottable en train sur les 77 kilomètres suivants jusqu'à Auxerre, l'Yonne est navigable d'Auxerre à Montereau sur 118 kilomètres.

Cette partie se divise en deux sections :

La première section, de 27 kilomètres, comprend la partie d'allure un peu torrentielle qui va d'Auxerre à Laroche au confluent du canal de Bourgogne. La rivière a dans cette section une largeur de 70 à 90 mètres et un débit qui varie de 15 à 500 mètres cubes ; sa pente est de 0^m,67 par kilomètre. On l'a

canalisée ; mais il eût peut-être été préférable de créer un canal latéral. La dépense s'est élevée à 3 millions.

On a racheté la pente entre Auxerre et Laroche par neuf écluses accolées à des barrages mobiles.

Les écluses ont 10^m,50 sur 86 mètres ; elles peuvent livrer passage à quatre bateaux à la fois, venant des canaux de Bourgogne et du Nivernais, qui ont des écluses de 5^m,20 sur 54 mètres.

Ces dimensions exceptionnelles ont, du reste, eu en vue la navigation par éclusées et le passage des nombreux trains de bois qui descendent de l'Yonne supérieure.

La deuxième section s'étend de Laroche à Montereau, sur 91 kilomètres.

Largeur de la rivière : 80 à 90 mètres ; pente moyenne par kilomètre : 0^m,35 ; débit d'étiage : 17 mètres cubes ; débit des grandes crues : 1000 mètres.

Malgré cette grande variation des débits, la pente relativement faible du cours d'eau permettait de le canaliser.

C'est ce qui a été fait par 17 barrages mobiles avec écluses accolées : les écluses ont 10^m,50 sur 96 mètres, elles se prêtent bien à la navigation par éclusées ; malheureusement, deux écluses plus anciennes ont 8^m,50 sur 181 mètres et ne seront guère utilisées.

« Ces dispositions, dit M. Krantz, ont eu leur raison d'être, mais on pouvait, tout en satisfaisant aux nécessités du moment, prévoir les exigences de la navigation continue et leur assurer par avance une complète satisfaction. »

Grâce aux travaux exécutés, le canal de Bourgogne est débloqué et va pouvoir rendre les services en vue desquels il a été créé. On estime à 2 francs par tonne l'économie qui résultera des travaux de l'Yonne pour toutes les marchandises transportées par le canal de Bourgogne. Avec le tonnage actuel, appelé à se développer, c'est déjà une économie annuelle de 526 000 francs pour un transport de 165 000 tonnes.

2. Canal de Bourgogne. — Déjà, sous François I^{er}, on se préoccupait de relier les bassins de la Seine et du Rhône. En 1576, Riquet déclara le projet impossible.

Plus tard, l'entrepreneur Abeille et l'ingénieur Gabriel montrèrent que Riquet s'était trompé et dressèrent l'avant-projet du canal de Bourgogne. Commencé en 1775, suspendu en 1798, repris en 1808, ce beau travail fut livré en 1832 et achevé depuis.

La dépense a été de 254 467 francs par kilomètre.

Partant de Laroche-sur-Yonne, il monte pendant 154 645 mètres sur le versant de la Seine, traverse à Pouilly la ligne de faite par un bief de 6088 mètres à l'altitude de 378 mètres, et descend le versant de la Saône jusqu'à Saint-Jean-de-Losnes après un parcours total de 242 kilomètres.

Il présente 191 écluses de 5^m,20 sur 54 mètres, dont 115 sur le versant de la Saône et 76 sur le versant de l'Yonne. La longueur de ces écluses est trop faible.

Le mouillage qui devait être de 1^m,80 et donner un tirant d'eau de 1^m,60, n'est, paraît-il, que de 1^m,50 et donne un tirant d'eau de 1^m,50, grave inconvénient pour la batellerie qui voit son tonnage utile réduit de 15 pour 100 et se voit forcée d'augmenter dans la même proportion les prix de transport. L'approfondissement du mouillage est donc très-urgent.

L'alimentation du canal de Bourgogne est assurée par cinq réservoirs pouvant emmagasiner 20 millions de mètres cubes et par 20 prises d'eau naturelles pouvant amener au canal 150 000 mètres cubes.

Le trafic qui, dès 1847, était de 45 millions de tonnes kilométriques (tonnes transportées à un kilomètre ou produit des poids réellement transportés par les distances réellement parcourues), baissa jusqu'en 1855 par suite de la concurrence des voies ferrées ; il se relève actuellement et le mouvement de progression va s'accroître grâce à l'achèvement des travaux de l'Yonne.

5. Canal du Nivernais. — Le canal du Nivernais relie l'Yonne à la Loire ; la première idée en est due à Jean du Gert, maître des digues sous Louis XIII.

Les travaux ne commencèrent qu'en 1784 ; plusieurs fois interrompus, ils ne furent terminés qu'en 1842.

Cette belle voie navigable achevée aura coûté 190,000 francs le kilomètre. Sa longueur, entre Auxerre sur l'Yonne et Decize sur la Loire, est de 174 kilomètres, dont 105 500 mètres sur le versant de la Seine, 4500 mètres pour le bief de partage et 66,000 mètres pour la descente en Loire.

La chute de 166 mètres sur le versant de la Seine est rachetée par 81 écluses.

Celle de 74 mètres sur le versant de la Loire est rachetée par 35 écluses.

Les écluses ont 5^m,12 à 5^m,25 de largeur avec une longueur utile de 35 mètres.

Plusieurs prises d'eau et quatre grands réservoirs, contenant plus de 7 millions de mètres cubes, assurent l'alimentation.

Le mouillage normal de 1^m,50 est souvent bien réduit pendant les sécheresses et, pour les biefs établis dans le lit de l'Yonne, le régime des éclusées fait que le mouillage, qui est de 1^m,55 pendant le flot, descend à 0^m,55 pendant l'affaiblissement qui suit le flot.

Le trafic au parcours entier n'est que de 78,000 tonnes dont 4/5 de Loire en Seine. Ce trafic est donc très-faible ; il n'augmentera que quand le canal sera amélioré, ce qui entraînera une dépense de 3 millions dont un peu plus de moitié est de première urgence.

4^e GROUPE DE LA SEINE

Le groupe de la Seine, arrêté à Rouen où commence la navigation maritime, comprend les subdivisions ci-après :

1 ^o L'Aube, entre Marcilly et Arcis-sur-Aube.	60 ^k ,0
2 ^o Le canal de la haute Seine, de Villebertin à Marcilly par Troyes	76 ^k ,5
3 ^o La haute Seine, de Marcilly au pont de la Tournelle (Paris).	189 ^k ,0
4 ^o Les canaux d'Orléans, de Briare et du Loing, reliant la Loire et la Seine.	182 ^k ,1
5 ^o Les canaux de Saint-Denis et de Saint-Martin.	44 ^k ,1
6 ^o La basse Seine, du pont de la Tournelle (Paris) à Rouen. . .	241 ^k ,0
7 ^o L'Eure canalisée entre Pont-de-l'Arche et Louviers.	45 ^k ,0

Longueur totale du groupe. 774^k,4

1. Rivière d'Aube, entre Arcis-sur-Aube et Marcilly. — Flottable sur 61 kilomètres à l'amont d'Arcis, la rivière d'Aube est considérée comme navigable entre Arcis et Marcilly. Mais la navigation ne s'y fait que par éclusées, à l'aide de lâchures faites par les usines ; le flot peut ainsi donner un mouillage temporaire de 1^m,50 ; le flot passé, la rivière revient à l'état naturel et le mouillage tombe à 0^m,17 sur certains hauts-fonds.

Dans le cas où on construirait le canal de ceinture par Vitry, Troyes, Saint-Florentin, Joigny et Montargis, il y aurait lieu de rattacher Arcis-sur-Aube à ce canal par un canal latéral à l'Aube qui coûterait 1,800,000 francs et d'améliorer la navigation actuelle de l'Aube, ce qui coûterait 2,700,000 francs.

2. Canal de la haute Seine. — En 1501, Philippe le Bel eut l'idée de rendre la Seine navigable jusqu'à Troyes. En 1665, Hector de Bouteroue, créateur du canal de Briare, reçut la concession de la haute Seine canalisée; en 1703, un service de navigation fut établi à partir de Troyes. Il cessa en 1709.

Un décret de 1805 ordonna la reprise de la canalisation qui ne fut achevée qu'en 1846. De Villebertin, à 9 kilomètres en amont de Troyes, jusqu'à Marcilly, le canal de la haute Seine peut être considéré comme terminé : il présente 12 écluses de 5^m,20 sur 58^m,60 et son mouillage est de 1^m,50.

Il constitue une impasse et ne dessert qu'un trafic local de 15,000 tonnes au parcours entier.

3. Haute Seine entre Marcilly et le pont de la Tournelle à Paris. — La haute Seine se divise en deux tronçons : le premier entre Marcilly et Montereau n'a qu'une importance de second ordre, le second entre Montereau et Paris est la continuation de l'Yonne et constitue une voie navigable de premier ordre.

Section de Marcilly à Montereau. Cette section, de 88 kilomètres de longueur, présente une pente kilométrique de 0^m,23, une largeur moyenne de 70 mètres, un débit d'étiage de 10 mètres cubes, et un débit de 500 mètres cubes en grandes crues.

A l'étiage, le mouillage tombe en certains points à 0^m,50, ce qui cause à la navigation des chômages funestes.

Avec une dépense de 5 millions on obtiendrait une voie convenable et on mettrait en valeur le canal de la haute Seine.

Là, comme partout où l'objectif de la navigation est en aval, il fallait exécuter les travaux en remontant de l'aval à l'amont; malheureusement, des influences étrangères et des impatiences irréfléchies ne permettent pas de suivre cette marche rationnelle.

La haute Seine a huit écluses de 7^m,70 à 8 mètres de largeur et de 44 à 62 mètres de longueur utile, dimensions non justifiées et différentes de celles qu'on rencontre sur les voies d'amont et d'aval.

Le trafic au parcours entier a été, en 1868, de 69,500 tonnes à la descente et de 7500 à la remonte.

Section de Montereau à Paris. — Cette section, de 101 kilomètres de longueur, présente une largeur de 100 à 150 mètres, une pente kilométrique variant de 0^m,21 à 0^m,15, un débit qui varie à Montereau de 27 à 1500 mètres cubes et à Paris de 50 à 2000 mètres cubes.

Ce sont, pour la navigation, de bonnes allures naturelles.

L'amélioration a été effectuée au moyen de douze barrages mobiles avec écluses accolées de 12 mètres de largeur et de 185 à 195 mètres de longueur utile.

Ces dimensions sont appropriées à la navigation par convois produite par les éclusées de l'Yonne et au passage des trains de bois : elles conviennent bien aussi pour le touage.

Le mouillage de 1^m,60 aurait peut-être dû être porté tout de suite à 2 mètres.

Le trafic entre Montereau et Paris est de plus de 900,000 tonnes à la descente et de 10,000 tonnes à la remonte.

4. Canaux de Briare, d'Orléans et du Loing. — Le canal de Briare

part de la rive droite de la Loire, à Briare, en face du canal latéral à la Loire ; il se termine à Buges, à 5 kilomètres au delà de Montargis et y rencontre le canal d'Orléans qui vient de Combleux à 6 kilomètres en amont d'Orléans. Les canaux de Briare et d'Orléans se prolongent par le canal du Loing qui aboutit en Seine à Saint-Mammès.

Canal de Briare. — Le premier en date des canaux à point de partage de l'Europe. Commencé en 1604 sous Henri IV et Sully, repris en 1638 par Guillaume Bouteroue et Jean Guyon, il fut terminé en 1642.

Le canal de Briare, d'une longueur de 59,100 mètres, compte 12 écluses sur le versant de la Loire et 31 sur le versant de la Seine. Ces écluses ont 5^m,20 sur 35 mètres.

Le mouillage n'est que de 1^m,50.

Pour améliorer le mouillage et allonger les écluses, il faudrait dépenser trois millions.

Le prix de revient de ce canal a été de 220,000 francs par kilomètre.

L'alimentation se fait par 18 réservoirs ayant une superficie de 480 hectares, et desservis par des rigoles de 59,660 mètres de développement.

Le tonnage au parcours entier est de 202,500 tonnes, consistant en houilles, cokes, bois et matériaux de construction.

Canal d'Orléans. — Ce canal fut construit par le duc d'Orléans et sa famille de 1679 à 1692. Il a coûté 160,500 francs le kilomètre.

D'une longueur de 75,500 mètres, il présente 17 écluses sur le versant de la Seine et 11 sur le versant de la Loire et un mouillage de 1^m,15.

Les écluses ont de 4^m,70 à 5^m,20 de largeur sur une longueur utile de 30^m,50 à 35^m,60. Une alimentation médiocre est obtenue au moyen de 11 étangs d'une superficie totale de 285 hectares et de plusieurs petites dérivations.

Le tonnage au parcours entier a été de 52,000 tonnes en 1868.

Ce faible trafic s'explique par les mauvaises conditions d'établissement du canal.

Il faudrait donner aux écluses des dimensions uniformes de 5^m,20 sur 42 mètres, obtenir un mouillage de 2 mètres et une alimentation assurée. Cela entraînerait une dépense de 2,500,000 francs, qui est des plus urgentes.

Canal du Loing. — Concédié en 1719 au duc d'Orléans, terminé en 1724, il a été racheté par l'État en 1864. Il est revenu à 121,200 francs le kilomètre.

Le canal du Loing, latéral à la rivière de ce nom, d'une longueur de 49,500 mètres, compte 24 écluses de 5^m,20 sur 35 mètres et possède un mouillage de 1^m,25.

Il donne lieu à un transport de 317,000 tonnes au parcours entier.

Pour l'amener à un bon état de navigabilité et porter le mouillage à 2 mètres, il y a trois millions et demi à dépenser et c'est une dépense urgente.

L'embranchement de Puits-la-Lande, ouvert en 1759 pour l'exploitation de la forêt de Montargis, est à peu près abandonné.

5. Canaux Saint-Denis et Saint-Martin. — Autrefois, la traversée de Paris entre le pont de la Tournelle et le port Saint-Nicolas n'était pas souvent navigable, et pour réunir l'amont et l'aval du fleuve on construisit les canaux Saint-Denis et Saint-Martin.

Ces deux canaux ensemble constituent un canal à point de partage, dont le bief supérieur, à l'altitude de 41 mètres, est alimenté par le canal de l'Ourcq.

Le canal Saint-Martin part de la rive droite de la Seine près de la Bastille et

gagne le faite par 9 écluses rachetant une hauteur de 24^m,50. Sa longueur est de 4500 mètres.

Le canal Saint-Denis part de la Villette et descend par Saint-Denis jusqu'à la Briche, où il débouche en Seine; il compte 12 écluses rachetant une hauteur de 28^m,90, sa longueur est de 6,600 mètres.

Les dimensions des écluses sont 7^m,80 et 42 mètres de longueur utile.

Par le fleuve, il y a 27 kilomètres de distance et 4^m,90 de différence d'altitude entre l'entrée du canal Saint-Martin et la sortie du canal Saint-Denis.

Ces deux voies, décrétées en 1802, ont été terminées la dernière en 1821 et la première en 1825. Leur mouillage est de 2 mètres.

En 1867, le trafic au parcours entier a été de 1,050,000 tonnes pour le canal Saint-Denis et 240,000 tonnes pour le canal Saint-Martin.

De 1865 à 1869, le mouvement moyen dans le bassin de la Villette où débouche aussi le canal de l'Ourcq a été de 1,550,000 tonnes à l'entrée et 690,000 tonnes à la sortie, chiffre comparable à celui du trafic du port du Havre.

Les canaux Saint-Denis et Saint-Martin, régis par des concessionnaires, sont soumis à des droits élevés, qui grèvent la tonne de houille par exemple de 0 fr. 10 par kilomètre.

Heureusement, les bateaux qui ne font que traverser Paris, ne sont plus forcés aujourd'hui de passer par les canaux; il ont même avantage à ne pas les suivre, car chaque passage des 21 écluses équivaut à une augmentation de parcours de deux kilomètres. Par le fleuve, il n'y a que deux écluses à passer: l'écluse de la Monnaie et l'écluse de Suresnes. Le touage sur chaîne noyée rend la circulation facile.

Lorsque le niveau de la retenue de Suresnes sera relevé de 0^m,50, lorsqu'on aura dépensé 4 ou 5 millions pour établir dans Paris des ports vastes et commodes, les concessionnaires des canaux seront forcés d'abaisser les droits excessifs de péage qu'ils perçoivent aujourd'hui.

6. Basse Seine, entre Paris et Rouen. — La basse Seine, entre le pont de la Tournelle à Paris et le pont de Brouilly près Rouen, a 241 kilomètres de plus que le chemin de fer de Paris à Rouen.

Sa largeur varie de 150 mètres près Paris à 350 mètres près Rouen.

Sa pente totale est de 25 mètres, soit environ 0^m,10 par kilomètre.

Son débit à Paris varie de 50 mètres cubes à l'étiage à 2,500 mètres cubes en grandes eaux.

Les glaces interrompent la navigation en moyenne 6 à 7 jours par an.

La marée se fait sentir en Seine jusqu'au barrage de Martot, à 25^k,5 au-dessus de Rouen.

Jusqu'au siècle actuel, la Seine était abandonnée à elle-même: il existait sur son parcours deux pertuis ou rétrécissements bien connus, ayant pour objet de maintenir à l'amont un mouillage convenable. C'étaient le pertuis de la Morue que les bateaux franchissaient avec un attelage de 40 chevaux et le pertuis de Poses qui entretenait une population spéciale de 450 haleurs.

De 1804 à 1815, on exécuta la dérivation de Pont-de-l'Arche aujourd'hui abandonnée.

De 1815 à 1855, on améliora et on exhaussa les chemins de halage et on exécuta sur les hauts fonds des dragages peu utiles.

En 1858, la construction par M. Poirée du barrage à aiguilles de Bezons ouvrit l'ère des améliorations sérieuses.

Aujourd'hui, la Seine compte sept barrages éclusés: Andresy, la Garenne,

Poses, Meulan, Martot, Suresnes ; le grand barrage de Villez est en construction.

La dépense totale depuis le commencement du siècle jusqu'en 1872 s'est élevée à 20 millions et demi.

Le trafic annuel est le suivant dans les diverses sections :

	tonnes.
1 ^{re} section. Du pont de la Tournelle à l'embouchure du canal Saint-Denis (26 kil.)	1.245.000
— Du canal Saint-Denis au confluent de l'Oise (43 kil.)	2.260.000
— Du confluent de l'Oise à Rouen.	720.000

Ce trafic est rapporté au parcours entier de chaque section.

Ce puissant mouvement, effectué malgré l'ardente concurrence du chemin de fer de l'Ouest, est très-significatif, dit M. Krantz ; il montre clairement que les voies navigables répondent encore de nos jours à des besoins sérieux et n'ont pas épuisé, comme on a paru le croire un instant, toute leur période de féconde activité.

On s'était proposé d'abord d'obtenir sur toute la basse Seine un tirant d'eau de 1^m,60 ; le projet de 1866 admet la nécessité d'un tirant d'eau de 2 mètres ; aujourd'hui, on se demande s'il ne conviendrait pas d'adopter 3 mètres, afin de transformer Paris en port de cabotage.

7. Eure canalisée. — La rivière d'Eure est canalisée sur 15 kilomètres entre Louviers et son embouchure en Seine.

Cinq écluses de 5^m,22 de large et de 37^m,40 à 39^m,10 de long rachètent sur ce parcours une chute de 8 mètres.

Le mouillage en certains points se réduit à 0^m,80 et par conséquent le tirant d'eau à 0^m,60, ce qui donne une navigation des plus mauvaises.

Le trafic annuel au parcours entier est de 4500 tonnes ; le prix de revient du transport d'une tonne kilométrique est de 0^r,162 ; les dépenses d'entretien se sont élevées en 1868 à 28,000 francs, soit 0^r,42 par tonne transportée et par kilomètre.

C'est évidemment une voie à abandonner.

NOUVELLES VOIES NAVIGABLES A ÉTABLIR DANS LE BASSIN DE LA SEINE

Le bassin de la Seine, ancienne mer intérieure, formé par une série de couches sédimentaires superposées comme des coupes empilées les unes dans les autres, a l'aspect d'une gigantesque coquille concave présentant des stries légères dans le sens rayonnant.

Ces dernières, marquées par les grandes vallées, aboutissent toutes au centre à Paris et se prolongent vers la mer par un tronc commun, la Seine.

Les stries rayonnantes sont convenablement utilisées par des voies navigables : Paris est relié par l'Oise avec le Nord, par l'Aisne avec le Nord-Est, par la Marne avec l'Est, par l'Yonne avec le Sud, par le canal du Loing avec l'Ouest.

On pourrait encore prolonger les voies rayonnantes de la Marne, de l'Aube et de la haute Seine et passer par elles dans le bassin de la Saône.

Mais ces prolongements paraissent moins nécessaires que l'établissement d'un canal de ceinture, reliant entre elles les diverses vallées.

Un pareil canal, placé trop bas, perd son utilité, car il coupe les vallées près de leurs confluent et ne représente pas une sérieuse économie de parcours: de plus, il ne dessert pas les parties hautes; placé trop haut, il dessert des pays pauvres et est difficile à alimenter. Sa véritable place est donc dans la partie moyenne du bassin.

« Le bassin de la Seine, dit M. Krantz, se prête merveilleusement à l'établissement de cette voie de ceinture.

« A la limite de la craie blanche et des grès verts, il présente une large strie concentrique très-déprimée. Comme l'assise de la craie domine l'autre à leur rencontre et qu'elle est très-perméable, c'est dans cette strie que viennent émerger toutes les eaux qui, tombées sur le plateau crayeux, l'ont pénétré et s'arrêtent sur les premières assises imperméables. La région que nous devons choisir est donc jalonnée par de nombreux étangs qui offriront une facile et puissante ressource pour l'alimentation. »

On trouvera dans le rapport de M. Krantz des détails sur les conditions techniques d'établissement du grand canal de ceinture du bassin de la Seine. Il nous suffira d'en esquisser les traits principaux, faciles à suivre sur la carte d'ensemble.

La 1^{re} section serait le canal de jonction de l'Oise à l'Aisne par la vallée de l'Ailette. — Ce canal, de 47 kilomètres de long, abrégérait de 58 kilomètres la distance entre le Nord et la Champagne; le projet en a été accueilli avec grande faveur et il est énergiquement réclamé. Partant d'Abbécourt sur le canal latéral à l'Oise, il franchit l'Oise, remonte la vallée de l'Aisne, traverse la ligne de faite en souterrain de 2500 mètres et par le vallon de Bray tombe dans le canal latéral à l'Aisne. Partant de l'altitude 41^m,25, il monte par neuf écluses à l'altitude 60 mètres et descend ensuite par 4 écluses à l'altitude 52^m,08.

L'évaluation de la dépense est de 14 millions de francs, soit 300,000 francs par kilomètre.

La 2^e section n'est autre que le canal de l'Aisne à la Marne aujourd'hui construit et bien alimenté; de Berry-au-Bac à Dizy, la longueur de ce canal est de 58,100 mètres.

La 3^e section est le canal latéral à la Marne jusqu'à Vitry.

La 4^e section serait le canal de jonction de la Marne à Vitry avec l'Aube à Mombert. D'une longueur de 37,950 mètres, il présente sur les deux versants une chute totale de 52 mètres, rachetée par 12 écluses; son bief de partage, de 21,800 mètres de long, est à l'altitude 112,50 et le bief le plus bas à l'altitude 95. — Ce canal est donc dans d'excellentes conditions et l'alimentation en est assurée grâce aux étangs abondants qui le surmontent. — La dépense peut être évaluée à 120,000 francs le kilomètre, soit en tout 4 millions et demi.

La 5^e section serait le canal de jonction de l'Aube avec la haute Seine. Il emprunte l'Aube sur 5800 mètres jusqu'à Magnicourt et passe ensuite la ligne de faite pour rejoindre la Seine à Verrières en amont de Troyes. Cette seconde partie forme un canal à point de partage de 51,200 mètres de long: l'altitude à Magnicourt sur l'Aube est de 104 mètres, au bief de partage 124 mètres et dans la Seine à l'arrivée 118 mètres. Dix écluses rachètent les dénivellations et le bief de partage a 15,050 mètres. La dépense peut être évaluée à 150,000 francs le kilomètre, soit 5 millions en nombre rond.

La 6^e section serait le canal de jonction de la haute Seine à Verrières avec le canal de Bourgogne à Germigny, dans la vallée de l'Armanche. — Ce canal, de 44,750 mètres de développement, a son point de départ en Seine et son point

d'arrivée sur le canal de Bourgogne à la même altitude 118 mètres ; son bief de partage, de 10,500 mètres, est à l'altitude de 156 mètres. 14 écluses rachètent les dénivellations. Une tranchée de 1200 mètres de longueur et de 5 mètres de profondeur et un souterrain de 600 mètres élèvent le prix de revient total à 7 millions.

La 7^e section est le canal de Bourgogne et l'Yonne entre Germigny et Cézy, près Joigny.

La 8^e section serait le canal à bief de partage reliant l'Yonne à Cézy avec le canal de Briare à Conflans. — Ce canal part de l'altitude 75, traverse la ligne de faite à l'altitude 159 mètres avec un bief de partage de 12,250 mètres, et descend ensuite à 96 mètres : il compte 57 écluses et un souterrain de 1000 mètres. Sa longueur est de 49,200 mètres et on peut l'évaluer à 9 millions de francs.

Les canaux de Briare et du Loing achèvent la ligne de ceinture que nous venons de décrire.

Les travaux à faire pour construire les lacunes de cette ligne s'élèvent en totalité à un chiffre rond de 40 millions de francs.

II. Bassin de la Manche et de la mer du Nord

Le bassin de la Manche et de la mer du Nord comprend :

1 ^o Les petites rivières navigables du littoral normand depuis le Cotentin jusqu'à l'embouchure de la Seine, groupe dont la longueur est de.	175.970 mètres.
2 ^o Le canal de la Somme et la rivière d'Avre.	177.800 —
3 ^o Le groupe des beaux canaux du Nord et du Pas-de-Calais. . .	575.510 —
Longueur totale des voies navigables du bassin.	929.280 —

1^o PETITES RIVIÈRES DU LITTORAL NORMAND

Ces rivières, à l'état naturel ou canalisées, ne desservent qu'un trafic local, dont le développement paraît peu probable malgré la fertilité du pays.

Nous allons les énumérer, en partant de la baie de Seine, et donner une description sommaire des plus importantes de ces voies.

1. La Rille. — La Rille, entre la baie de Seine et Pont-Audemer, est aujourd'hui transformée en canal maritime. Elle ne reçoit qu'un faible trafic.

2. La Touques. — La Touques, classée comme navigable jusqu'à Breuil, en aval de Lisieux, n'est parcourue par aucun bateau. Vu les grandes sinuosités de son parcours, on ne peut songer à l'améliorer.

3. L'Orne. — L'Orne est aujourd'hui remplacée par le canal maritime de Caen.

4. La Vire. — On transporte sur la Vire, entre la baie des Vays et Pont-Farcy, à 50^k,9 en amont de Saint-Lô, sur une longueur total de 66^k,8, environ 25 600 tonnes de marchandises, qui consistent surtout en tanges, chaux et engrais marins.

Le mouillage normal est de 1^m,50. De Pont-Farcy à Saint-Lô, il y a une chute de 35^m,40, rachetée par 15 écluses de 4^m,20 sur 25^m,10. Entre Saint-Lô et Porribet, la voie navigable appartient au canal concédé de Vire et Taute. Entre Porribet et la mer, on trouve une écluse de 6 mètres sur 27^m,10, rachetant une chute de 5 mètres.

Il n'y a pas de modifications à apporter à ce système médiocre de navigation tant que la Vire n'aura pas été reliée à l'Orne et au réseau central de nos voies navigables. — Cependant, on pourrait, avec une dépense de 500.000 francs, porter le tirant d'eau à 1^m,60.

5. L'Aure. — L'Aure était classée comme navigable sur 15 kilomètres de longueur entre Trévoux et le port d'Isigny. Comme elle n'avait qu'un tirant d'eau de 0^m,60, elle a été déclassée en 1868.

6. La Taute et ses affluents. — La Taute, navigable sur 21.700 mètres entre le moulin de Mesnil et la rencontre de la Douve, voit son mouillage descendre en basses eaux à 0^m,60 et même à 0^m,40. Elle est parcourue par des gabares de 10 à 15 tonneaux, transportant par eau 79.000 tonnes de tange et engrais marin. Elle serait, vu sa faible pente, facile à améliorer si cela était nécessaire.

La *Vanloue*, dont le mouillage descend à 0^m,35, est navigable sur 9^k,4 en amont de son confluent avec la Taute. Elle reçoit annuellement un trafic de 1.100 tonnes.

La *Berette*, considérée comme navigable sur 7 kilomètres en amont de son confluent avec la Taute, est dans les mêmes conditions que la Vanloue.

7. La Douve et ses affluents. — La Douve, navigable sur 50^k,6, entre Saint-Sauveur-le-Vicomte et son confluent avec la Taute, près de la baie de Carentan, est parallèle à la chaîne du Cotentin; aussi, sa pente est faible, son cours est sinueux, mais elle possède un mouillage supérieur à 1 mètre. Les gabares portant 10 tonnes, qui la parcourent, donnent au parcours entier un trafic annuel de 52.700 tonnes.

Les affluents de la Douve, la *Sève*, la *Madelaine*, la *Merderet*, classées comme navigables, sur 19 kilomètres en tout, ne donnent lieu qu'à une navigation insignifiante; ils sont à l'état naturel, et ne livrent passage qu'à des batelets de 4 à 5 tonneaux.

8. Canaux de Vire et Taute, de Coutances et du Plessis. — Ces trois canaux, d'une longueur ensemble de 42^k,9, reçoivent en moyenne 12.400 tonnes de trafic par kilomètre et par an. La région n'étant pas industrielle, ils n'ont à transporter que les engrais et amendements.

Le canal de Vire et Taute, de 11^k,8, réunit ces deux rivières à 10 kilomètres de leur embouchure; il part de Porribet, et se termine en aval de Carentan. Son mouillage est de 1^m,50; sa pente totale de 9 mètres est rachetée par 6 écluses de 4^m,20 sur 25^m,20. Il a coûté 47.000 francs le kilomètre, capital dont l'intérêt à 5 pour 100 représente 0^f,10 par tonne kilométrique.

Le canal de Coutance, de 5^k,60 de longueur, relie Coutance avec la rivière ensablée la Sienne; il n'est accessible qu'à la marée, et reçoit 5.400 tonnes de tange par an au parcours entier. Il a coûté 114.000 francs le kilomètre. Une bonne route eût été préférable.

Le canal du Plessis, de 4^k,6, avec un mouillage de 1 mètre et un trafic annuel de 1000 tonnes au parcours entier, a coûté 22.000 francs le kilomètre. Il relie les mines de houille du Plessis avec la Sève. Une bonne route eût été préférable.

9. La Selune, la Sée, la Sienne. — Ces trois rivières, débouchant dans la baie d'Avranches, ne figurent que pour mémoire à l'actif de nos voies navigables.

Remarque générale. — Dans la région que nous venons d'étudier, ce ne sont pas les voies navigables qui manquent; ce sont les transports de matières encombrantes, les seuls pour lesquels l'usage des canaux soit économique.

Il serait possible de mettre l'Orne en communication avec la Mayenne au moyen d'un canal à point de partage qui permettrait de porter à la Mayenne les tangues et engrais de mer. En même temps on réunirait l'Orne et la Vire, de sorte que le réseau du Cotentin serait relié au bassin de la Loire.

2^e GROUPE DE LA SOMME

1. Somme et canal de la Somme. — En aval du port de Saint-Valery, la Somme est soumise à la navigation maritime. En amont, commence la navigation fluviale qui suit, non pas la rivière, mais le canal latéral.

Le canal de la Somme s'embranché à Saint-Simon sur le canal Saint-Quentin. Il passe par Péronne et Amiens et se termine dans le port de Saint-Valery.

D'une longueur de 156^k,6 ayant coûté 85.450 francs le kilomètre, il a une pente totale de 62^m,09, soit en moyenne 0^m,40 par kilomètre, rachetée par 25 écluses de 6^m,50 sur 56^m,40. On se demande pourquoi on a adopté une largeur de 6^m,50, alors que le canal de Saint-Quentin, avec lequel le canal de la Somme communique, n'a que des écluses de 5^m20. Des dimensions uniformes sont pourtant aussi utiles en matière de voies navigables qu'en matière de voies ferrées.

En amont d'Abbeville, le mouillage varie de 1^m,80 à 1^m,85 : il est de 5^m,20 en aval. On ne tardera pas à obtenir un mouillage de 2 mètres dans la partie haute.

Les frais d'entretien annuels sont de	135.000 francs.
A quoi il faut ajouter un crédit de grosses réparations de	50.000 —
En 1870, les droits de navigation ont produit	
— le fermage de la pêche et des francs bords.	22.747 ^f ,27
— les ventes d'arbres et produits divers	12.289 ^f ,15
	2.159 ^f ,00
Total	37.175 ^f ,42

Le trafic, qui s'était amoindri d'un tiers de 1846 à 1859, s'est relevé depuis, a dépassé son ancienne valeur. Le mouvement est de 90.000 tonnes au parcours entier.

La partie du fret à la charge du commerce n'est que de 0^f,028, ce qui permet au canal de faire concurrence aux chemins de fer.

Lorsque le canal de ceinture du bassin de la Seine sera établi, le canal de la

Somme sera la voie la plus courte de la Champagne vers la mer, et prendra une grande importance.

2. Rivière d'Avre. — Cette rivière est navigable jusqu'à Moreuil, sur 21^k,2 à l'amont d'Amiens. Elle pourrait être transformée en bonne voie navigable, mais le pays ne paraît pas y avoir d'intérêt sérieux.

5° CANAUX DU NORD ET DU PAS-DE-CALAIS

Le réseau des canaux du Nord et du Pas-de-Calais est le plus riche de France; il rend d'immenses services à l'agriculture et à l'industrie, et par sa concurrence avec les chemins de fer, maintient les tarifs de transports à des prix modérés.

Le réseau comprend les lignes suivantes :

1° La ligne d'Étrun à Gravelines, d'une longueur de.	116.400 mètres.
2° L'Escaut.	65.100 —
3° La Scarpe.	66.950 —
4° Les canaux de la Deule, de Roubaix et de Seclin.	90.450 —
5° La Lys et ses affluents.	96.000 —
6° Les canaux du littoral.	142.610 —
Total.	575.510 —

1. Ligne d'Étrun à Gravelines. — Cette belle voie navigable, de 149^k,4 de longueur, a été formée par la réunion des tronçons ci-après :

Canal de la Sensée, d'une longueur de.	25.050 mètres.
Scarpe moyenne.	7.000 —
Deule supérieure.	26.000 —
Canal d'Aire à la Bassée.	45.000 —
Canal de Neufossé.	17.950 —
Rivière d'Aa.	28.400 —
Total égal.	149.400 —

Nous ne parlerons ici que des canaux, les sections de la Scarpe et de la Deule devant être décrites en même temps que ces rivières.

Canal de la Sensée. — Ce canal, construit en 1818 par le sieur Honorez, et racheté par l'Etat en 1865, a coûté à l'Etat 4.425.000 francs.

C'est un canal à point de partage qui a une chute de 1^m,14 et une longueur de 8^k,79 sur le versant de l'Escaut, un bief de partage de 11^k,85, et une chute de 4^m,41 avec une longueur de 4^k,41 sur le versant de la Scarpe. Les 8 écluses intermédiaires et les 2 écluses de garde aux extrémités ont 5^m,20 sur 41^m,50.

Très-bien alimenté par les rivières de la Sensée et de Gaches, et par les marais voisins, ce canal n'éprouve pas de chômage, et a un mouillage de 2 mètres.

Les frais annuels d'entretien sont de 25.000 francs, et les droits de péage de 50.000 francs. Le trafic, au parcours entier est de 600.000 tonnes.

Canal d'Aire à la Bassée. — C'est le canal de jonction de la Lys à la Deule avec l'embranchement de Nœux de 2^k,4 de longueur. La longueur totale de la voie est de 45 kilomètres.

La différence de niveau de 2^m,05 entre la Deule et la Lys est rachetée par deux écluses de 5^m,20 sur 41^m,80 : le mouillage de 4^m,65 est constamment maintenu grâce à une alimentation surabondante. Pour porter le mouillage à 2 mètres, il y a 4.500.000 francs à dépenser, ce qui devra être ajouté aux dépenses de 10.242.500 francs faites précédemment par l'Etat.

L'entretien annuel coûte 40.000 francs et les droits de péage rapportent 55.000 francs.

Le mouvement rapporté au parcours entier est de 580.000 tonnes.

Le fret, qui est de 0^f,04, tombera à 0^f,02 lorsque le mouillage sera augmenté.

Canal de Neufossé. — C'est le canal de jonction de la Lys à l'Aa, terminé en 1874.

Il comprend une écluse à 5 sas successifs, une écluse simple et une écluse de garde contre les crues du canal de la basse Meldyck.

Les écluses ont 5^m,20 sur 40^m,20. Le mouillage varie de 4^m,75 à 2^m,20.

L'alimentation n'est pas tout à fait suffisante et se fait dans le bief inférieur au moyen des eaux vaseuses de la Meldyck, d'où résultent des dépôts vaseux qu'il faut draguer.

L'entretien coûte 25.000 francs par an pour 17^k,95 et les droits de péage rendent 500.000 francs.

Le tonnage rapporté au parcours entier est de 660.000 tonnes par an.

550.000 francs sont à dépenser pour porter le mouillage à 2 mètres.

Rivière d'Aa. — Descendant des collines de l'Artois, elle devient navigable à partir de Saint-Omer où elle se soude au canal de Neufossé. De là elle gagne Gravelines.

Elle reçoit pendant l'hiver les eaux des Watergands ou canaux de dessèchement et pendant l'été elle alimente les Wateringues pour l'irrigation.

Ces diverses fonctions sont quelquefois difficiles à concilier, et la dernière détermine quelquefois des courants nuisibles.

Cette voie de 28^k,4 n'a qu'une écluse de 5^m,20 sur 42 mètres avec une chute de 0^m,90.

Le mouillage normal est de 2^m,50 et ne descend pas au-dessous de 2 mètres.

Les frais annuels d'entretien sont de 20.000 francs et les droits de péage rendent 29.000 francs.

Le transport, rapporté au parcours entier, a été de 587.000 tonnes en 1868.

2° L'Escaut. — L'Escaut est navigable depuis sa rencontre avec le canal de Saint-Quentin sous les murs de Cambrai jusqu'à Anvers. Il reçoit en France les canaux de la Sensée, de Mons à Condé, et la Scarpe à 1200 mètres de la frontière belge.

Le système des concessions pratiqué sur l'Escaut a donné comme ailleurs de mauvais résultats, en ce sens que les Compagnies concessionnaires ont, enfin de compte, fait payer au public dix fois le service rendu.

L'Escaut français canalisé a une longueur de 65^k,40, une pente totale de 29^m,71 donnant une pente kilométrique moyenne de 0^m,47, rachetée par 16 écluses de 5^m,20 de large sur 58 à 42^m,60 de long. Cette inégalité de longueur est la seule imperfection de cette voie, dont le mouillage est fixé à 2 mètres.

Les frais annuels d'entretien sont de 402.500 francs et les droits de péage rendent 467.500 francs.

Le fret par tonne n'est que de 0^f,019 par tonne et par kilomètre.

En fait d'amélioration, il y a lieu d'augmenter le crédit d'entretien annuel

de 20.000 francs, ce qui permettra de consolider par des fascinages et des perrés les berges friables que corrode une active circulation.

Mais l'amélioration la plus sérieuse consistera à organiser le halage et à le mettre en adjudication au lieu de le laisser libre.

3° La Scarpe. — La Scarpe navigable commence au lieu dit les Quatre-Cris près d'Arras, ville à laquelle la Scarpe est reliée par le canal Saint-Michel, et se termine à Mortagne, au confluent de l'Escaut, en passant par Douai.

On distingue sur la Scarpe trois sections :

1° La Scarpe supérieure, d'Arras au canal de la Sensée, longueur 25.890 mètres, chute 25^m,42 rachetée par 9 écluses de 4^m,60 à 5^m,20 de large et de 27^m,60 à 42 mètres de long; débit en étiage 1 mètre cube, en eaux moyennes 2^{me},5 et en grandes eaux 15 mètres, mouillage normal 1^m,65;

2° La Scarpe moyenne, du canal de la Sensée au canal de la Deule, faisant partie de la grande ligne d'Étrun à Gravelines; longueur 6902 mètres; pente 8^m,49 rachetée par 5 écluses de 5^m,20 sur 42 mètres; débit en étiage 2^{me},5, en eaux moyennes 4 mètres cubes, en grandes eaux 17 mètres cubes; mouillage normal 2 mètres;

3° La Scarpe inférieure, du canal de la Deule à Mortagne, longueur 36.152 mètres; pente 7^m 59 rachetée par 6 écluses de 5^m,20 sur 42 à 43^m,60; débit en étiage 6 mètres cubes, en eaux moyennes 8 mètres cubes et en grandes eaux 37 mètres cubes; mouillage normal 1^m,75.

Très-bien alimentée, la Scarpe fournit de l'eau à la Deule et à de nombreuses usines et prises d'eau.

Pour améliorer la navigation de la Scarpe, il n'y a pas moins d'un million à dépenser.

La Scarpe inférieure est concédée à une compagnie dont le privilège expire en 1905; l'intervention de l'État et le rachat de la concession paraissent nécessaires.

4° Canaux de la Deule, de Roubaix et de Seclin. — Ce groupe dessert un pays des plus riches et donne lieu à un trafic considérable malgré sa faible longueur.

Canal de la Deule. — Le canal de la Deule part de la Scarpe, et se rend dans la Lys en passant par la Bassée et Lille. La partie haute de ce canal fait partie de la grande ligne d'Étrun à Gravelines.

La basse Deule, à l'aval de Lille, formée du lit même de la rivière, était navigable dès le douzième siècle. Le reste de cette voie n'a été vraiment rendu navigable que dans le siècle actuel.

La longueur totale des canaux de la Deule est de 65.700 mètres; sa chute est de 10^m,52, soit une pente kilométrique de 0^m,16, rachetée par 7 écluses de 5^m,15 à 5^m,26 de large et de 42 à 43^m,90 de long; le débit dans la partie supérieure est de 2 mètres cubes en étiage, 5 mètres cubes en eaux moyennes et 5 mètres cubes en crue; dans la partie inférieure les débits d'étiage, d'eaux moyennes et de crue sont respectivement de 2^{me},80, 4^{me},50 et 13^{me},50.

Le mouillage est de 2 mètres sur la haute Deule, mais n'atteint que 1^m,75 dans la moyenne et la basse Deule.

L'alimentation plus que suffisante entretient d'importantes usines et des canaux d'irrigation.

Les glaces engendrent chaque année une vingtaine de jours de chômage; ce sont les seuls.

Le crédit d'entretien est de 80.000 francs et les droits de péage rendent 100.000 francs.

Le transport annuel rapporté au parcours entier est de 615.000 tonnes : le taux du fret est de 0^r,02 et les dépenses faites par l'Etat grèvent chaque tonne kilométrique de seulement 0^r,0015.

Les travaux urgents d'élargissement des ponts et d'approfondissement de la moyenne et de la basse Deule coûteront 1.500.000 francs.

Canal de Roubaix. — Le canal de Roubaix, de 20.550 mètres de longueur, part de la Deule, à 3 kilomètres en aval de Lille, au point où la Deule cesse de couler vers le Nord pour s'infléchir à l'ouest et gagner la Lys au-dessous d'Armentières. Le canal de Roubaix va rejoindre l'Escaut par les vallées de la Marck et de l'Espierre et réunit ainsi la Lys, la Deule et l'Escaut.

C'est un canal à point de partage qui a sur le versant de la Deule une longueur de 9460 mètres et une pente de 19^m,75.

Un bief de partage à ciel ouvert, entre Tourcoing et Roubaix, de 5510 mètres de longueur; sur le versant de l'Escaut une longueur de 7580 mètres et une pente totale de 16^m,05.

Ce canal compte 15 écluses de 5^m,20 sur 41 mètres. Cette réduction de 1 mètre dans la longueur ordinaire des écluses du nord ne s'explique guère.

Le mouillage, de 1^m,65 du côté de la Deule, atteint 2 mètres sur le versant de l'Escaut.

Les dépenses faites jusqu'à présent s'élèvent à 5 millions et demi; il reste encore 2 millions à dépenser, ce qui portera le prix de revient à 568.000 francs le kilomètre.

Lorsque cette voie sera achevée, elle donnera lieu à un trafic considérable si l'on en juge par les résultats actuels.

Canal de Seclin. — D'une longueur de 4400 mètres, il s'embranché sur la Deule, il appartient à une compagnie concessionnaire et ne rend pas tous les services qu'on en pourrait tirer, parce que son mouillage est limité à 1^m,80 tandis que le mouillage est de 2 mètres sur la haute Deule. Ce canal a transporté 46.600 tonnes en 1868; il y a 500.000 francs à dépenser pour le mettre en bon état de viabilité.

5^o La Lys et ses affluents. — La Lys, affluent de l'Escaut, est navigable en France sur 55 kilomètres d'Aire à la frontière belge; à Thiennes et à Merville, elle reçoit les canaux de la Nieppe et de la Bourre qui desservent Hazebrouck; à la Gorgue, elle reçoit la Lawe canalisée qui remonte à Béthune, et enfin elle reçoit la Deule au-dessous d'Armentières près de la frontière belge.

La Lys canalisée. — Cette voie, d'une longueur de 55 kilomètres, a une pente totale de 8 mètres, rachetée par 6 écluses de 5^m,20 de large sur 37 à 42^m,50 de long; mouillage variant de 1^m,50 à 2^m,50.

Elle est suffisamment alimentée pour fournir de l'eau aux canaux d'Hazebrouck et à plusieurs usines.

Le trafic au parcours entier a été de 170.000 tonnes en 1868. Le fret est de 0^r,03.

Les crédits d'entretien sont de 51.000 francs, couverts par les droits de péage.

L'intérêt des sommes dépensées jusqu'en 1872 grève chaque tonne de 0^r,002. Une dépense d'un million est nécessaire pour régulariser le mouillage.

Canaux d'Hazebrouck. — En partant d'Hazebrouck, on trouve d'abord le canal de ce nom, qui, à la Motte-aux-Bois, se divise en deux branches gagnant

la Lys, l'une à Thiennes vers Aire, l'autre à Merville; la première est le canal de la Nieppe, la seconde comprend le canal de Préavin que continue jusqu'à la Lys la Bourre canalisée.

Longueur totale du réseau 24.700 mètres; pente totale 5^m,6, rachetée par cinq écluses dont l'ouverture n'est que de 5^m,55. Ces écluses ont des sas en terre de 11^m,90 à 18 mètres de large sur 91 à 275 mètres de long.

Ce système primitif, qui fait perdre beaucoup de temps, ne permet pas le passage des péniches du Nord.

Le mouillage est de 1^m,20; le trafic au parcours entier a été de 180.000 tonnes en 1868; l'alimentation est assurée.

700.000 francs sont à dépenser pour refaire les écluses et porter le mouillage à 2 mètres.

Lawe et canal de Béthune. — La Lawe est navigable à partir de son embouchure dans la Lys jusqu'à 1400 mètres de Béthune, ville à laquelle la raccorde le canal du même nom.

Cette voie, de 18^k,5 de longueur totale, possède cinq écluses de 4^m,80 à 5^m,20 de large et de 40 à 98 mètres de longueur; ces écluses sont tout à fait primitives. La navigation est intermittente et se fait trois fois par semaine.

Alimentation surabondante, mouillage 1^m,40, trafic au parcours entier 25.000 tonnes, taux du fret 0^f,05. 1.500.000 francs sont à dépenser pour améliorer cette voie navigable.

6. Canaux du littoral. — Ces canaux, formant un réseau de 142^k,61, ont été construits sous la domination espagnole aux frais des localités; ils rendent des services réels.

Canaux de la Colme. — Les canaux de la Colme relie la rivière d'Aa avec les villes de Bergues et de Furnes.

Le canal de la Haute-Colme, entre Wattin sur l'Aa et Bergues, construit en 1654, a un parcours de 24.740 mètres.

Le canal de la Basse-Colme, ouvert vers 1662, longe les Moères, marais desséchés par des machines d'épuisement, et réunit Bergues à Furnes. Il lance vers Hondschoote un embranchement qui s'appelle Becque d'Hondschoote. Longueur totale 14^{kil},5.

Les canaux de la Colme ont une pente totale de 2^m,52, rachetée par 5 écluses de 5^m,20 sur 40 mètres. Leur largeur normale est de 6 mètres, et de nombreuses gares sont ménagées pour le croisement des bateaux. Les ponts trop bas causent une grande gêne à la batellerie. Mouillage normal, 1^m,70, convenablement maintenu.

Il a été fait sur cette ligne une dépense de 47.000 francs par kilomètre.

Crédit annuel d'entretien, 16.500 francs, produit du péage, 7.500 francs.

Le trafic au parcours entier est d'environ 100.000 tonnes.

Le fret est très-élevé et atteint 0 fr. 10 par tonne kilométrique.

L'élargissement du canal, l'exhaussement des ponts et l'approfondissement du mouillage à 2 mètres coûteraient un million de francs.

Canal de Bourbourg. — Ce canal relie la rivière d'Aa, et, par suite, Gravelines, avec le port de Dunkerque. Il a 20.840 mètres de longueur, une pente totale de 2^m,16 rachetée par 5 écluses de 5^m,20 sur 66 mètres à 73 mètres, un mouillage normal de 1^m,80.

Le mouillage est réduit en été, par suite du manque d'eau et par suite du

courant qu'il faut établir à l'écluse de Gravelines pour maintenir à sec les Wateringues de Saint-Omer.

Les dépenses faites jusqu'à présent s'élèvent à 55.700 francs par kilomètre.

Crédit annuel d'entretien, 21.000 francs ; droits de péage, 16.000 francs.

En 1868, le trafic au parcours entier a été de 510.000 tonnes.

Le prix moyen du fret est de 0 fr. 05 c. ; l'entretien de la voie et l'intérêt des capitaux engagés n'augmentent pas tout à fait ce prix de 0 fr. 01 c.

Canal de Mardick. — Ce canal, construit par Louis XIV, mettait en communication le port de Dunkerque avec l'avant-port de Mardyck ; d'une longueur de 3500 mètres, il est surtout utile comme réservoir pour les chasses du port.

Canal de Dunkerque à Furnes. — Construit au seizième siècle, ce canal fut remis en état de 1804 à 1808. Il est concédé jusqu'en 1899. Sa longueur, de 13.500 mètres sur le territoire français, est d'un seul bief de niveau. Mouillage, 4^m,80, prix du fret, 0 fr. 047.

En rachetant ce canal et le creusant, on dépenserait 400.000 francs, et on ferait une voie vraiment utile.

Canal de Bergues à Dunkerque. — Se soude à la Basse-Colme dans les fossés de Bergues et gagne le canal de Mardyck à Dunkerque.

Exécuté en 1654, il a une longueur de 8,150 mètres, un mouillage de 4^m,90, un trafic au parcours entier de 120.000 tonnes. Il est bien alimenté par les eaux de la Colme et des Wateringues.

Canal de Calais avec embranchement sur Ardres et Guines. — D'une longueur de 50^k,05, le canal de Calais a une seule écluse de 5^m,20 sur 45^m,50, rachetant une chute de 1 mètre ; son mouillage régulier est de 4^m,80 ; en hiver, la navigation est interrompue par les glaces, et, en été, elle est gênée par les tirages qu'il faut établir pour dégorger les canaux de dessèchement.

Les embranchements d'Ardre (4770 mètres) et de Guines (6.200 mètres) n'ont pas d'écluse et communiquent librement avec la branche mère.

Ce canal a coûté 90.000 francs le kilomètre.

Son crédit annuel d'entretien est de 21.500 francs, et il rend 8.500 francs de droits de péage.

Le trafic au parcours entier est de 100.000 tonnes ; le taux du fret est de 5 à 4 centimes. Pour porter à 2 mètres le mouillage du canal de Calais, dernier tronçon de la ligne de Calais à Paris, il y a 1 million à dépenser.

Canaux des Wateringues. — Ces canaux sont les émissaires de l'entreprise de dessèchement décrite sous le nom de Wateringues. Ils appartiennent à l'administration de ce nom ; accessibles à la navigation, sur une longueur de 16.400 mètres, ils n'ont qu'un faible mouillage.

Observation générale. — Le réseau des canaux du nord n'est relié au reste de la France que par le canal de Saint-Quentin.

On a bien souvent demandé la jonction de l'Escaut à la Sambre ; cette jonction serait très-coûteuse et très-difficile.

De même la jonction de la Scarpe ou de l'Escaut à la Somme, et de la Somme à la Seine par la vallée de l'Andelle serait difficile et onéreuse.

Des chemins de fer sont préférables à ces voies de navigation.

III. Bassin du Rhône

Le Rhône, le plus grand cours d'eau de la Méditerranée d'Europe, pénètre par lui-même et par son prolongement naturel, la Saône, dans le cœur de la partie la plus riche de l'Europe, c'est le trait d'union entre le nord et le midi.

Il se divise en deux grandes sections : le groupe de la Saône au nord de Lyon, le groupe du Rhône au sud de Lyon.

1° GROUPE DE LA SAONE

Le groupe de la Saône comprend :

1° La Saône navigable entre Port-sur-Saône et Lyon	566 kilomètres.
2° Le canal du Rhône au Rhin, longueur réduite de 565 ^k ,4 à	192 —
3° Le Doubs de Dôle à Verdun	75 —
4° La Seille canalisée	59,2 —
5° Le petit canal de Pont-de-Vaux	5,4 —

Longueur totale du réseau 675,6 —

1. Saône. — La Saône, entre sa source à Vioménil dans les Vosges, et son confluent avec le Rhône à la Mulatière près Lyon, a un parcours de 582 kilomètres; elle recueille les eaux d'un bassin fertile de 2.855.000 hectares.

Elle se divise en cinq sections dont le tableau ci-après renferme les éléments :

DÉSIGNATION DES SECTIONS.	LONGUEUR.	ALTITUDE		PENTE KILOMÉT. MOYENNE.	DÉBITS MINIMA.	DÉBITS MAXIMA.
		à l'amont.	à l'aval.			
	kil.	mèt.	mèt.	mèt.	m. cub	mèt. cub.
1° De Vioménil à Port-sur-Saône	116	297	208	0,77	0 à 8	0 à 1200
2° De Port-sur-Saône à Gray	82	208	187	0,26	8 à 15	1200 à 1500
3° De Gray à Verdun-sur-Doubs	115	187	171	0,14	15 à 25	1500 à 5000
4° De Verdun à Saint-Bernard	151	171	166	0,04	25 à 40	5000 à 5500
5° De Saint-Bernard à la Mulatière	55	166	159	0,20	40 à 60	5500 à 4000
Longueur totale	482	297	159	0,29	40 à 60	5500 à 4000

La Saône, recevant à droite le canal de Bourgogne, le canal du Centre et le canal de l'Est en construction, à gauche le canal du Rhône au Rhin, le Doubs, la Seille canalisée et le petit canal de Pont-de-Vaux, présentant un débit abondant, une pente faible et régulière, est, pour la navigation, un magnifique cours d'eau, qui a eu jadis plus d'importance qu'aujourd'hui, mais qui est appelé à reprendre une plus grande place dans l'avenir.

Dans la 1^{re} section, faible pente et fort débit, la Saône n'est pas navigable. Dans la 2^e section, entre Port-sur-Saône et Gray, débit assez considérable et pente modérée, la navigation se fait par éclusées au moyen des barrages d'usines; les pertuis sont franchis non sans danger à la descente, mais on ne les remonte guère. Des travaux, commencés en 1848, sont restés abandonnés depuis ce temps-là.

Dans la 3^e section, la Saône serait naturellement navigable pendant une grande partie de l'année; elle l'est d'une manière à peu près continue, grâce à des barrages éclusés, fixes à l'amont, mobiles et du système Poirée à l'aval. Les écluses ont 8 mètres sur 46 mètres. Le mouillage de 1^m,10 pourra, sans grande dépense, être porté à 1^m,60 et même à 2 mètres.

La 4^e section, possédant un fort débit et une pente très-faible qui donne au courant l'apparence d'un lac, est merveilleusement propre à la navigation. Grâce à trois grands barrages éclusés en construction, le tirant d'eau naturel de 1^m,60 sera constamment maintenu à 2 mètres. Les écluses ont 12 mètres sur 120 mètres.

Dans la 5^e section, la Saône précipite sa descente pour gagner le Rhône à Lyon; il y a des rapides et des bassiers où le mouillage d'étiage se réduit à 0^m,20. Les barrages mobiles en construction corrigeront ce vice: leurs écluses ont 16 mètres sur 140 mètres.

« Il paraît difficile, dit M. Krantz, d'expliquer la nécessité de ces types variés d'écluses, et surtout leur défaut de concordance. »

Le trafic au parcours entier ne dépasse pas 2500 tonnes jusqu'à Gray. De Gray à Saint-Jean-de-Losne, il atteint 89.000 tonnes, et, de ce point jusqu'à Lyon, le chiffre s'élève à 568,000 tonnes. La concurrence du chemin de fer a réduit le tonnage de plus de moitié; cependant, le fret entre Lyon et Châlons varie de 0 fr. 014 à 0 fr. 017.

28 millions et demi ont déjà été dépensés sur la Saône; les travaux en cours d'exécution, destinés à donner un mouillage de 1^m,60, s'élèvent à 15 millions; pour obtenir le mouillage de 2 mètres, égal à celui des canaux affluents, il faudra dépenser encore 2 millions et demi. C'est en tout une dépense de 48 millions, soit 151.000 francs par kilomètre entre Port-sur-Saône et Lyon.

L'économie de transport, que la voie d'eau réalise par rapport à la voie ferrée, n'est pas au-dessous de 0 fr. 015 par tonne kilométrique; 155 millions de tonnes suffisent donc à couvrir l'intérêt du capital engagé, c'est à peine le double du trafic actuel.

2. Canal du Rhône au Rhin. — Projeté en 1744 par M. de la Cliche, construit vers 1783 entre Dôle et Saint-Symphorien, repris en 1804, ouvert en 1820 de Dôle à Besançon, et terminé en 1834, le canal du Rhône au Rhin, d'une longueur de 365^k,4 avec son artère principale de Saint-Symphorien à Strasbourg et ses embranchements de Colmar et d'Huningue, a coûté 85.000 fr. le kilomètre.

Quittant la Saône à Saint-Symphorien, à 4 kilomètres en amont du canal de Bourgogne, il rejoint le Doubs à Dôle, le remonte jusqu'à Montbéliard et pénètre en Alsace par la vallée de l'Ill.

Son bief de partage est à l'altitude 550 mètres; sa pente vers le Rhône est de 172^m,9, vers le Rhin de 206^m,25, et, sur l'embranchement d'Huningue, de 7^m,67. C'est une dénivellation totale de 586^m,82, rachetée par 179 écluses de 5^m,15 sur 55 mètres.

Malgré son faible mouillage de 1^m,50, le canal desservait un mouvement

très-actif, surtout en Alsace, mouvement qui atteignait 250.000 tonnes au parcours entier.

Nous ne possédons plus que les 192 kilomètres entre Saint-Symphorien et Montreux; c'est une voie qui a beaucoup perdu de son importance pour la France.

3. Doubs. — Incorporé au canal du Rhône au Rhin au-dessus de Dôle, il est classé comme navigable entre cette ville et Verdun-sur-Doubs, confluent de la Saône. Pente kilométrique, 0^m,28; mouillage réduit à 0^m,50 pendant cinq mois. Néanmoins, le mouvement au parcours entier de 75 kilomètres est encore de 15.500 tonnes par an.

4. Seille canalisée. — Canalisée en 1805, au prix de 75.000 francs le kilomètre, la Seille relie la ville de Louhans à la Saône; elle amène dans la Bresse les matériaux d'empierrement et de construction, et alimente les moulins de la Seille et les forges du Jura.

Longueur de cette voie, 39^k,2; pente de 7^m,10 rachetée par 4 écluses de 6^m,50 sur 55^m,50; mouillage, 1^m,20; trafic au parcours entier, effectué presque entièrement à la remonte, 29.000 tonnes.

Les services rendus par cette voie ont depuis longtemps amorti le capital de construction.

5. Canal de Pont-de-Vaux. — Latéral à la Reyssouse, d'une longueur de 5.400 mètres, il relie la ville de Pont-de-Vaux avec la Saône. Concédié en 1779, terminé en 1842, il a coûté 186.000 francs le kilomètre. Il dessert un mouvement de 19.000 tonnes et constitue une mauvaise opération économique.

Observation générale sur la Saône. — « Si la Saône, dit M. Krantz, a souffert de ses propres imperfections, elle a bien plus souffert encore de celles du grand fleuve dans lequel elle débouche.

Lorsque la navigation était dans son enfance, le Rhône a dû paraître une voie de transport suffisante pour les besoins; aujourd'hui, loin de réunir le bassin de la Saône à la Méditerranée, il l'en sépare. »

2° GROUPE DU RHONE

Le groupe du Rhône, dans lequel n'entrent pas le canal maritime Saint-Louis ni le canal de Bouc à Martigues, comprend :

1° La rivière de l'Ain	91,5	kilomètres.
2° — de l'Isère	146,5	—
3° — de l'Ardèche	8,0	—
4° Le canal de Savières	4,2	—
5° — de Givors	18,5	—
6° — de Beaucaire	77,8	—
7° — d'Arles à Bouc	47,4	—
8° Le Rhône lui-même	546,5	—
Longueur totale du groupe	950,5	—

1. Ain. — D'une pente d'au moins 1^m,50 par kilomètre, l'Ain, classé comme navigable jusqu'au confluent de la Bienne et comme flottable au-dessus, voit son mouillage réduit à 0^m,25 en basses eaux. Cette rivière est parcourue à la

descente par des trains de bois et des bateaux vides qui ne reviennent plus. Le trafic au parcours entier est de 4.700 tonnes.

2. Isère. — Navigable depuis la limite de la Savoie jusqu'au Rhône, avec une pente kilométrique moyenne de $0^m,41$ et un débit excessivement variable, présentant un mouillage qui peut tomber à $0^m,50$, traversant des défilés et des passages encombrés de rochers, l'Isère pourrait à la rigueur être rendue accessible à la grande navigation ; mais personne ne paraît y avoir d'intérêt sérieux. Le trafic au parcours entier est de 2.000 tonnes, bois de chauffage et de charpente.

3. Ardèche. — Avec sa pente de $0^m,80$, son débit inégal, ses crues violentes, son lit mobile, cette rivière d'allure torrentielle n'est vraiment pas navigable.

4. Canal de Savières. — C'est le canal qui sert d'émissaire au lac du Bourget dans le Rhône. On l'a amélioré en y dépensant 52.250 francs par kilomètre ; il a un mouillage de $4^m,50$, et dessert un trafic annuel de 500 tonnes au parcours entier.

5. Canal de Givors. — Connu sous le nom du canal des Deux-Mers, parce qu'il avait été conçu comme le trait d'union entre le Rhône et la Loire, entre la Méditerranée et l'Océan, le canal de Givors s'est arrêté au bassin de Rive-de-Gier. Il n'est réellement exploité que sur $18^k,5$ entre Sardon et le Rhône ; pente, $108^m,45$, rachetée par 40 écluses de $4^m,60$ à $6^m,50$ sur $25^m,52$ à $35^m,58$. Mouillage normal, $4^m,60$, assuré par le réservoir du Couzon.

Ce canal a coûté très-cher, 245.000 francs le kilomètre, il supporte au parcours entier un trafic de 78.000 tonnes ; il est affermé moyennant une redevance de 240.000 francs payée aux concessionnaires par la Société des mines de la Loire.

6. Canal de Beaucaire. — Concédé par Henri IV au Hollandais Bradley, repris ensuite par divers concessionnaires et par les États du Languedoc en 1746, concédé en 1804 au sieur Perrochel, le canal de Beaucaire fut livré à la circulation en 1806 ; il fut concédé jusqu'en 1959 avec des droits de péage encore fort élevés.

Cette voie comprend le canal principal de Beaucaire à Aigues-Mortes, le canal de la Radelle, les canaux de Bourgidou et autres.

La différence de $5^m,64$ entre l'étiage du Rhône à Beaucaire et le niveau de la mer à Aigues-mortes est rachetée par trois écluses de $6^m,66$ sur $56^m,40$.

Le coût kilométrique ressort à 175,500 francs ; le trafic au parcours entier était, en 1867, de 55,000 tonnes et se trouvait en décroissance continue.

7. Canal d'Arles à Bouc. — Le canal d'Arles à Bouc a pour but d'éviter la navigation difficile et la barre du Delta du Rhône ; il rejoint ce fleuve pris à Arles avec la Méditerranée au port de Bouc à l'entrée de l'étang de Berre.

Achévé en 1842, il a coûté 250,000 francs le kilomètre et possède un mouillage de 2 mètres.

Son bief culminant est à $4^m,45$ au dessus de l'étiage du Rhône, de sorte que cette voie peut fonctionner soit comme canal à point de partage, soit comme canal latéral. Il a 4 écluses de 8 mètres sur 52 mètres ; il dessert un trafic de 66,000 tonnes au parcours entier, cinq fois moins qu'en 1847.

Les deux canaux précédents ne pourront avoir une vie active que le jour où le Rhône sera devenu réellement navigable.

8. Rhône proprement dit. — Le Rhône proprement dit se divise en quatre sections navigables :

1° Le haut Rhône, entre le Parc et le confluent de la Saône à Lyon.	158,5	kilomètres.
2° Le bas Rhône, entre Lyon et Arles.	285	—
3° Le Rhône maritime, entre Arles et la mer.	48	—
4° Le petit Rhône, branche occidentale.	57	—
Total.	546,5	—

1° *Haut Rhône*. — Sa pente est de 0^m,96 par kilomètre jusqu'à Cordon, en aval elle tombe à 0^m,30 en basses eaux ; son lit est tourmenté et souvent encombré de rochers ; son débit est très-variable. Il transporte au parcours entier, et presque uniquement à la descente, 75,000 tonnes qui se composent de matériaux de construction pour Lyon. En été, une ligne de bateaux à vapeur fonctionne entre Lyon et le lac du Bourget.

Cette voie navigable, desservant surtout des intérêts locaux, ne réclame pas de perfectionnements urgents ; elle paraît suffire aux services qu'on lui demande.

2° *Bas Rhône*. — Entre Lyon et Arles, sa pente moyenne est de 0^m,55 par kilomètre ; son débit aux deux extrémités est de 210 mètres cubes et 530 mètres cubes en étiage, 7000 et 14,000 mètres cubes en grosses eaux.

Le lit de graviers est tellement mobile que le moindre obstacle déplace le chenal sur de grandes longueurs. Les crues, les basses eaux, les brouillards et les glaces occasionnent trois mois de chômage par an.

La descente ne peut se faire qu'avec des bateaux longs et plats ; la remonte excessivement difficile ne comporte que de faibles chargements.

Le fret entre Lyon et Arles varie de 5 à 6 centimes par tonne kilométrique ; bien que le trafic ait diminué de moitié depuis la construction du chemin de fer, il est encore au parcours entier de 500,000 tonnes dont $\frac{2}{3}$ en descente. Ce fait semble prouver que les voies ferrées ne sont pas suffisantes pour desservir tous les intérêts commerciaux de la vallée du Rhône.

5° *Rhône maritime*. — D'Arles à la Tour Saint-Louis, le Rhône maritime conserve comme à Arles un débit de crue vingt-trois fois plus grand que le débit d'étiage ; mais sa pente kilométrique se réduit à 0^m,05 et son mouillage, dépassant partout 2 mètres, atteint 4 et 5 mètres près de la Tour Saint-Louis.

Bien que le mistral, soufflant du N.N.O. sur la direction N.S. du fleuve expose les navires à de grands dangers, le Rhône maritime n'en est pas moins le siège d'une active navigation, que l'ouverture du canal Saint-Louis est appelée à développer considérablement. Mais c'est plutôt une navigation maritime que fluviale, et la création d'un port important à la Tour Saint-Louis ne réalisera point de grands avantages pour notre système de navigation intérieure.

4° *Petit Rhône*. — Branche occidentale du Delta, cette ligne n'est aucunement fréquentée ; la navigation suit de préférence le canal de Beaucaire.

Amélioration de la navigation du Rhône. — De 1831 à 1859 on a dépensé sur le Rhône 24 millions de francs, dont 2,600,000 francs seulement pour amélioration et le reste pour défense de rives.

A partir de 1860, en présence de la situation lamentable de la batellerie du Rhône, on se préoccupa sérieusement de l'amélioration du fleuve.

Avec l'allure torrentielle du fleuve on n'osa pas recourir aux barrages mobiles et on se proposa de créer un lit moyen avec chenal navigable donnant entre Lyon et Arles un mouillage de 1^m,60 et par suite un tirant d'eau de 1^m,40.

Sur 51,500,000 francs de travaux à exécuter, il reste encore plus de 37 millions à dépenser ; les crédits annuels ne dépassent guère 900,000 francs. C'est donc au minimum 42 ans qu'il faut compter avant l'achèvement des travaux.

Et comme les travaux projetés ne donnent à la batellerie qu'une médiocre satisfaction, on ne peut compter sur le système des avances de fonds pratiqué pour quelques grands ports de mer.

L'insuffisance du projet est expliquée par M. Krantz dans les termes suivants :

Inconvénients des endiguements sur les rivières torrentielles. — « On a pu, à l'aide de rétrécissements, améliorer d'une manière très-heureuse diverses rivières près de leur embouchure. On peut citer comme exemple d'une pleine réussite, ce que nos voisins ont fait sur la Clyde et ce que nous avons fait nous-mêmes sur la Seine, en aval de Rouen : mais le voisinage de la mer et surtout l'atténuation extrême des pentes et des vitesses introduit dans cette partie des fleuves un ensemble de conditions favorables, qui ne se retrouvent pas au même degré ailleurs.

On comprend encore que, quand des rivières présentent une pente faible et, par suite, une vitesse modérée, que leur fond a une certaine consistance et que leurs crues ne sont pas excessives, on puisse établir un régime nouveau qui présente quelque stabilité. L'inconvénient de ce régime artificiel, au point de vue de la navigation, c'est l'accélération des vitesses et la limitation assez étroite des mouillages.

On arrive par ce procédé, après de nombreux tâtonnements et de longues expériences, à trouver un ensemble de conditions auxquelles le cours d'eau se plie sans trop de révoltes ; mais en général, on n'obtient pas de grandes profondeurs, et il serait dangereux de trop les rechercher.

Si on veut appliquer le même système à des rivières de régime quelque peu torrentiel, on s'expose à de nombreux mécomptes. On réussit partiellement, mais la rivière attaque, pendant les crues, ce qu'elle avait respecté en basses eaux. On recommence encore cet interminable labeur qui est de nouveau détruit, et, en fin de compte, on se trouve toujours à la veille du succès et jamais au lendemain.

Ceci est vrai surtout quand il s'agit d'un grand fleuve comme le Rhône, où toutes les difficultés sont accumulées. Nous l'avons dit précédemment, la pente kilométrique entre Lyon et Arles atteint 0^m,55 ; la vitesse du courant est grande, le fond très-mobile, les crues, au nombre de quatre ou cinq par an, atteignent quelquefois des proportions formidables. Dans ces conditions, on n'a plus affaire à un seul, mais à plusieurs cours d'eau qui se succèdent dans le même emplacement avec des vitesses et des volumes différents. Les dispositions qui conviennent à l'un de ces états du fleuve, rarement conviennent aux autres ; ce que les uns avaient respecté, les autres le détruisent ou ont tendance à le détruire.

Ces considérations ont fait naître, dans beaucoup de bons esprits, des doutes très-sérieux sur le plein succès des travaux actuellement entrepris ; car il ne suffit pas, qu'on le remarque bien, d'une réussite partielle, il faut que l'on réussisse partout et toujours ; s'il reste un seul point où l'on n'obtienne pas le mouillage fixé, le résultat, au point de vue de la navigation, est le même que si on ne l'avait obtenu nulle part.

Tout ceci est grave ; mais ce qui l'est encore plus, c'est que le plein succès des travaux entrepris, à supposer qu'on puisse l'obtenir, est destiné à faire plus d'honneur aux ingénieurs que de profit à la batellerie. Il est facile de s'en rendre compte.

Le mouillage de 4^m,60, constitué à grands frais sur le Rhône, ne pourra, en raison de la vitesse du courant et de la longueur des bateaux, offrir un tirant d'eau utilisable de plus de 4^m,20, c'est-à-dire bien inférieur à celui de la Saône

et des canaux affluents. Il faudra donc toujours rompre charge, c'est-à-dire alléger ou transborder à Lyon. Transbordements à la descente, chargements faibles à la remonte paraissent inévitables, et, dans ces conditions, la voie navigable sera toujours insuffisante et le prix du fret très-élevé.

On cherche, il est vrai, en ce moment, à construire des bateaux en tôle très-considérables et à faible calaison, à l'aide desquels on pourra effectuer de grands transports sur le Rhône. Le nom de l'ingénieur qui fait cet essai hardi est une garantie de succès, et nous admettons très-bien, pour notre part, que M. Dupuy de Lôme réussisse suivant son habitude; mais ses gros chalands s'arrêteront forcément aux écluses étroites de la Saône, ne pourront pas pénétrer dans les canaux qui y débouchent, et la navigation intérieure à long parcours, la plus utile pour le public, la plus fructueuse pour les mariniens, n'aura rien gagné à sa tentative. Quelques établissements particuliers, le Creusot, par exemple, pourront y trouver leur compte; mais, nous le répétons, cette entreprise, à laquelle nous souhaitons un plein succès, ne nous paraît améliorer en rien la situation de nos voies navigables. Il faut évidemment chercher ailleurs la solution du problème. »

Canal latéral. — Ce qui importe avant tout ce n'est point de relier la Saône et le nord de l'Europe avec Lyon; le but à atteindre, c'est la mer, c'est Marseille, et toute voie navigable qui ne mènera point facilement et économiquement les marchandises jusqu'à la mer sera sans valeur.

En l'absence de cette voie, Marseille, malgré son heureuse situation, peut se trouver menacée dans l'avenir par la concurrence de Brindisi, de Gênes, de Venise et de Trieste. Au contraire, avec une bonne voie navigable la reliant à Lyon, Marseille peut défier toutes ses rivales, car elle permettra aux navires qui lui apportent les marchandises étrangères de ne point repartir sur lest et de prendre en chargement nos vins, nos fers, nos houilles, nos matériaux de construction, etc.

Le Rhône est impuissant, dit M. Krantz, à fournir cette bonne voie navigable et c'est à un canal latéral seul qu'on peut la demander.

Un projet de canal latéral sur la rive droite du Rhône a été présenté par M. l'ingénieur en chef Céard en 1808; un autre projet sur la rive gauche fut rédigé, en 1822, par M. l'ingénieur en chef Cavenne. Ce projet desservait Lyon, Vienne, Saint-Vallier, Tain, Valence, Montélimart, Tarascon, Arles et aboutissait à la mer à Bouc, après un parcours de 518 kilomètres et une chute totale de 150 mètres rachetée par 58 écluses de 5^m,20 sur 35 mètres. Ce canal communiquait avec le fleuve par des coupures éclusées et son mouillage était fixé à 4^m,60.

Il devait coûter 47 millions de francs, soit 148.000 francs le kilomètre.

M. Krantz pense qu'en tenant compte du canal construit d'Arles à Bouc, il y aurait à dépenser encore 68 millions de francs, soit 250.000 francs par kilomètre.

Le projet Cavenne a été approuvé en 1825 par le Conseil général des ponts et chaussées. Cependant, le projet de la rive droite, qui paraissait autrefois le plus difficile à cause des contre-forts et des affluents nombreux qu'il rencontre, paraît aujourd'hui plus abordable que celui de la rive gauche; il ne se trouve point juxtaposé au chemin de fer et dessert de grands centres industriels, en même temps qu'il pourrait semer sur son parcours des chutes motrices et des canaux d'irrigation. Quittant le Rhône à Lyon à 160 mètres d'altitude, il lancerait une branche aboutissant à Nîmes à l'altitude de 50 mètres et le tronc principal se prolongerait jusqu'à Arles.

Le travail est évalué à 300.000 francs le kilomètre, soit en tout à 90 millions de francs. Pour le compléter et pour permettre aux bateaux de rivière d'arriver jusqu'à Marseille, il faudrait construire en outre, et comme complément indispensable, le canal de Bouc à Marseille, qui, avec un parcours de 22 kilomètres, coûterait 5 millions de francs.

La création de la grande voie navigable mettant en communication assurée et facile Lyon et Marseille ne paraît donc devoir coûter que 95 millions de francs.

IV. Bassin de la Garonne et du littoral de la Méditerranée

Ce bassin comprend trois groupes principaux de voies navigables, savoir :

1° La Dordogne et ses affluents, la Dronne, l'Isles, la Vézère	564 kilomètres.
1° La Garonne et ses affluents	1026,65 —
3° Canal latéral à la Garonne, canal du Midi, canaux du littoral	544,88 —
Total	2135,55 —

Par l'élévation de leur pente et l'irrégularité de leur débit, les rivières naturelles de ce bassin ne peuvent guère se prêter aux exigences d'une bonne navigation.

De leur côté, les baux canaux de la région restent inoccupés par le fait des tarifs élevés ; ils appartiennent à la Compagnie des chemins de fer du Midi et la concurrence est impossible.

1° GROUPE DE LA DORDOGNE ET DE SES AFFLUENTS

Le groupe de la Dordogne comprend :

1° La Dordogne, d'une longueur navigable de	352 kilomètres.
2° La Vézère	65,5 —
3° L'Isles	145,4 —
4° La Dronne	1,1 —
Total	564 —

1. **La Dordogne.** — Cette rivière a sa source au pied du Mont-Dore ; elle coule du Nord au Sud jusqu'à Bretenoux, tant qu'elle reste sur les terrains primitifs du massif central, puis elle prend la direction Est-Ouest et vient se jeter dans la Gironde au Bec d'Ambez.

Sa longueur est de 490 kilomètres et sa pente moyenne de 2^m,60 par kilomètre. Dans le massif central son cours est sinueux, tourmenté et encombré de roches ; dans le terrain jurassique, entre Bretenoux et Souillac, elle est bordée d'un côté par de hautes falaises à pic, de l'autre par une plage basse et fertile ;

dans le terrain crétacé, entre Souillac et Bergerac, ces grands reliefs s'atténuent et ils disparaissent à l'aval lorsque la Dordogne parcourt les plaines d'alluvions.

On place l'origine de la navigation au port de Vénéjoux, à 97^k,5 de la source. Les débits à Souillac, au confluent de la Vézère, et à Libourne, confluent de l'Isle, sont :

20	56	42 mètres cubes en étiage.
2000	4900	5700 — en crues.

Le rapport des débits est donc compris entre 155 et 145.

La pente kilométrique est de 0^m,57 entre Souillac et le confluent de la Vézère, de 0^m,54 entre ce dernier point et Libourne, de 0^m,09 à 0^m,00 entre Libourne et le Bec d'Ambez.

Les marées d'équinoxe relèvent de 5 mètres le plan d'eau à Libourne et se font sentir jusqu'à Pessac, à 45 kilomètres en amont; les marées ordinaires donnent à Libourne un relèvement de 4 mètres et se font sentir jusqu'à Castillon, à 35 kilomètres en amont.

Bien qu'assez facile à canaliser jusqu'à Limeuil et même jusqu'à Souillac, la Dordogne a été négligée et on n'y a dépensé jusqu'à présent que 6,550 francs par kilomètre. — Cette somme a été employée à la dérivation canalisée de la Linde (15,375 mètres de longueur) et au barrage éclusé de Bergerac.

De Vénéjoux à Souillac, le trafic totalement en descente n'est que de 900 tonnes au parcours entier; de Souillac à Bergerac, le trafic est de 19,000 tonnes, s'effectuant presque entièrement à la descente lors des crues. — De Bergerac à Libourne, il atteint 28,000 tonnes. — La navigation à pleine charge n'est guère possible que trois mois par an, avec des bateaux dont le tirant d'eau maximum est 1^m,05. — Prix moyen du fret, 0 fr. 06.

Dans les parties hautes, jusqu'à Souillac, il n'y a évidemment pas d'amélioration à tenter; le chemin de fer sera toujours préférable à la voie navigable pour pénétrer dans les montagnes.

De Souillac à Limeuil l'amélioration est possible au moyen de dérivations et de barrages éclusés; elle coûterait 12 millions, mais il paraît convenable de s'en tenir au chemin de fer latéral.

De Limeuil à Libourne, la canalisation est utile et désirable et coûtera 6,700,000 francs.

2. **La Vézère.** — La Vézère a sa source à Chavagnac, dans la Corrèze; elle rencontre la Corrèze à Brives et la Dordogne à Limeuil, après 160 kilomètres de parcours. Pente moyenne; 5 mètres par kilomètre et 0^m,54 sur les 65 derniers kilomètres.

A Limeuil, le débit varie de 12 mètres en étiage à 1,400 mètres en crues.

La Vézère, qui peut donner lieu à une navigation satisfaisante, a commencé à attirer l'attention sous Henri IV; les travaux, recommencés sous Louis XIII, furent repris en 1825 et laissés incomplets en 1850. Une seule écluse fut achevée sur vingt-quatre.

La Vézère est donc à peu près à l'état naturel, et son mouillage en basses eaux tombe à 0^m,50. Son trafic est de 550 tonnes.

Le chemin de fer suffit du reste en ce moment pour desservir convenablement la vallée de la Vézère.

3. **L'Isle.** — L'Isle a sa source à Nexon en Limousin; reçoit comme principal

affluent la Dronne et se jette dans la Dordogne à Libourne, après un parcours de 255 kilomètres et une chute de 296 mètres, donnant une pente kilométrique moyenne de 1^m,26.

La navigation fluviale se fait entre Périgueux et Laubardemont, sur une longueur de 114^k,42 avec une pente moyenne de 0^m,70 et un débit variant, à Périgueux, de 5^{mc} à 1100^{mc}, et à Laubardement de 6^{mc},50 à 1200^{mc}. — A Laubardemont, 51 kilomètres en avant de Libourne, commence la navigation maritime ; la pente tombe à 0^m,10 dans cette section.

Bien que sa pente soit un peu forte dans la 1^{re} section, l'Isles est une bonne voie navigable, la navigation ne s'y arrête que lorsque les crues dépassent 1^m,20 à Mussidan et couvrent la plaine.

Projetée en 1696, l'amélioration de l'Isles fut effectuée de 1821 à 1838 au moyen de 40 barrages éclusés, dont les écluses ont 4^m,55 sur 25 mètres ; les barrages sont fixes et surmontés de hausses Thenard. La dépense a été de 5,370,000 francs, soit 57,000 francs par kilomètre.

A l'aval de Laubardemont, le jeu de la marée suffit.

Le mouillage normal à l'amont est de 1^m,25 ; le chemin de halage est bon, mais il a le grave inconvénient de comporter, entre Périgueux et Libourne, vingt-sept passages d'une rive à l'autre.

Trafic total au parcours entier en 1868 : 16,700 tonnes ; il a toujours décré depuis l'établissement du chemin de fer de Périgueux à Coutras.

Il est nécessaire de dépenser 1 million pour augmenter le mouillage au moyen de hausses mobiles sur les barrages. Les écluses seraient aussi à remanier si l'Isles était mise en communication avec d'autres voies navigables.

Le prolongement de la navigation de l'Isles à l'amont de Périgueux jusqu'à Excideuil rendrait des services ; mais le moment n'est pas venu de l'établir.

4. La Dronne. — Affluent de l'Isles, classée comme navigable sur 1100 mètres, la Dronne ne dessert aucun trafic. Elle n'est intéressante que parce que sa vallée et celle de son affluent, la Tude, sont le passage le plus facile du bassin de la Dordogne dans le bassin de la Charente.

On pourrait établir un canal à point de partage, quittant la Charente à Monac, passant sous le plateau de Juvignac au moyen d'un souterrain de 3 kilomètres et descendant par Courgeas vers la vallée de la Tude, et suivant le flanc droit des vallées de la Dronne et de l'Isle jusqu'à Libourne.

Ce canal, tronçon de la ligne navigable de Paris à Bordeaux, aurait 119 kilomètres, des dénivellations s'élevant en tout à 67 mètres ; il coûterait environ 210,000 francs le kilomètre. Mais, il n'y aurait d'utilité à le construire qu'autant qu'on aurait effectué d'abord la jonction de la Loire et de la Charente.

2^e GROUPE DE LA GARONNE

Le groupe de la Garonne comprend : 1, la Garonne ; 2, le Dropt ; 3, le Lot ; 4, le Tarn ; 5, le Salat ; 6, l'Ariège ; 7, la Baïse ; 8, les Esteys.

1. La Garonne. — Les sources ou yeux (ojos) de la Garonne sont dans la vallée d'Aran en Espagne, à l'altitude de 1872 mètres au-dessus du niveau de la mer.

La Garonne coule d'abord vers l'Est, puis s'infléchit au Nord jusqu'à Toulouse d'où elle se dirige vers l'Ouest ; elle baigne Saint-Gaudens, Muret, Toulouse,

Agen, Tonneins, la Réole, Marmande, Langon, Bordeaux et Blaye; elle rejoint la Dordogne au Bec d'Ambez, et de là jusqu'à la pointe de Cordouan, porte le nom de Gironde. — Le parcours entier est de 505^k,72.

La navigation commence au confluent de Salat à 80^k,40 en amont de Toulouse; elle s'étend en aval de Toulouse jusqu'à la mer.

		par kilom.
Du confluent de Salat à Toulouse, la longueur est de	80 ^k ,40	et la pente moyenne de 1 ^m ,65
De Toulouse au confluent du Tarn	85 ^k ,80	— 0 ^m ,61
Du confluent du Tarn au confluent du Lot	84 ^k ,20	— 0 ^m ,60
Du confluent du Lot au débouché du canal latéral, à		
Castets	70 ^k ,00	— 0 ^m ,31
De Castets à Bordeaux	54 ^k ,10	— 0 ^m ,04
De Bordeaux à la mer	99 ^k ,50	— 0 ^m ,02

Le bassin de la Garonne s'étend surtout sur la rive droite.

La largeur du fleuve entre Toulouse et Bordeaux varie de 80 à 200 mètres.

La navigation maritime commence au pont de Bordeaux.

Les crues de la Garonne sont très-rapides : quatre fois par siècle environ on observe des crues d'environ 7^m,50 à Toulouse, 10^m,60 à Agen, 15 mètres à Castets, 12^m,40 à Langon. Chaque année il se produit plusieurs crues de 3 à 4 mètres; ces crues sont dues surtout à la fonte des neiges.

La pénurie d'eau entraîne 25 à 15 jours de chômage par an dans les parties fluviales de la Garonne. La dépense faite sur ce fleuve, jusqu'à présent, est de 24,000 francs par kilomètre; elle a eu surtout pour but des endiguements pour préserver la vallée.

Du reste, entre Toulouse et Castets, la Garonne est avantageusement doublée par le canal latéral; on ne doit pas chercher à l'améliorer. A l'aval de Castets, le mouillage peut tomber à 0^m,70, mais le jeu des marées l'augmente régulièrement et empêche les chômages.

Entre Roquefort, origine de la navigation fluviale, et Castets, le trafic est tout entier à la descente; en 1868 il atteignait, au parcours entier dans chaque section :

11.000 tonnes entre Roquefort et Toulouse	80	kilomètres.
15.000 tonnes entre Toulouse et Agen	134	—
102.000 tonnes à la descente entre Agen et Bordeaux	105	—
60.000 tonnes à la remonte entre Castets et Bordeaux	55	—

En 1847, le trafic était le double; il a atteint son minimum en 1864. — Les vins et eaux-de-vie le composent pour moitié et les céréales pour un quart.

2. Le Dropt. — Le Dropt prend sa source près Montpasier, entre les vallées du Lot et de la Dordogne, et se jette dans la Garonne à la Réole.

D'une longueur de 128 kilomètres, cette rivière a des allures modérées; des berges d'argile s'élèvent à 2 ou 3 mètres au-dessus des eaux ordinaires, et sa largeur varie de 15 à 30 mètres.

Dans la partie canalisée, la pente kilométrique est de 0^m,58; le débit d'étiage tombe rarement à 0^{mc},50, il est habituellement de 3^{mc},50; le débit des crues est ordinairement de 200 mètres cubes et exceptionnellement de 400 mètres cubes.

Ce cours d'eau se prête donc naturellement à l'établissement d'une bonne voie navigable.

Concédée en 1719, la canalisation ne fut sérieusement entreprise qu'en 1859. Elle a été obtenue, sur 64,800 mètres, au moyen de 20 écluses de 4^m,70 à 4^m,90 de large sur 25 à 54 mètres de long; mouillage normal, 1^m,20; trafic au parcours entier, 2500 tonnes.

Avec quelques améliorations de mouillage, le Dropt, racheté par l'État aux concessionnaires qui ont dépensé 900,000 francs, non compris une subvention de 400,000 francs de l'État, constituerait une utile voie navigable d'intérêt local.

3. Le Lot. — Le Lot prend naissance au mont Lozère, dans les Cévennes, à 1200 mètres d'altitude, et se jette dans la Garonne à Nicole, à l'aval d'Aiguillon, après un parcours de 452 kilomètres et une chute de 1175^m,50. Voici les caractères des diverses sections :

	Longueur.	Pente kilomètr.	Débit d'étiage.	Débit de crues.
De la source à Entraygues (non navig.)	159 kilom.	70 ^m ,00	»	»
D'entraygues à Bouquiès.	41 —	4 ^m ,12	20 m. c.	»
De Bouquiès à Cahors.	110 —	} variable de	} 25 —	} 1500 m. c.
De Cahors à Villeneuve-d'Agen.	112 —			
De Villeneuve-d'Agen au confluent.	50 —	} 0 ^m ,52	50 —	} 5000 —

Dans les années de grande sécheresse, le débit d'étiage est encore réduit de moitié. Par ses allures irrégulières, par la hauteur de ses crues soudaines qui atteignent jusqu'à 15 mètres à Villeneuve, le Lot se présente comme une rivière difficile à transformer en bonne voie navigable, bien que ce but soit éminemment désirable à atteindre, car il s'agit de desservir une longue et fertile vallée.

Colbert fit construire, à l'aval de Cahors, 24 écluses; en 1808, on en établit une autre à Cahors même.

En 1855, l'ouverture de l'usine de Decazeville et la mise en exploitation des houillères de l'Aveyron firent décider l'amélioration du Lot jusqu'au port de Bouquiès.

Elle doit s'effectuer au moyen de 71 barrages fixes avec écluses maintenant un mouillage d'au moins 1 mètre.

Les travaux exécutés n'offrent pas d'unité; ainsi, les écluses ont 5 mètres à 9^m,20 de large et 50^m,50 à 40^m,60 de long; le mouillage réglementaire n'est obtenu que dans 11 biefs sur 54; il tombe à 0^m,20 dans certains biefs à l'amont de Cahors. Les chemins de halage sont inachevés sur 75 kilomètres.

Voie très défectueuse, le Lot ne dessert, au parcours entier, qu'un trafic assez faible qui a été, en 1868, de 14.000 tonnes. Le fret moyen est de 8 centimes par tonne kilométrique.

Chaque tonne kilométrique est grevée de 0^r,045 par les frais d'entretien et 0^r,192 par l'intérêt des capitaux dépensés, de sorte qu'elle revient en tout à 0^r,515.

Il ne paraît pas y avoir lieu de pousser plus loin les travaux d'amélioration; le Lot ne peut être une voie économique capable de faire concurrence au chemin de fer qui dessert la vallée: tout au plus, pourrait-on chercher à améliorer la section comprise entre la Garonne et Villeneuve-d'Agen, et il y aurait à consacrer à ce travail six millions, dont on retirerait sans doute un profit convenable.

4. Le Tarn. — Le Tarn part du mont Lozère, arrose Florac, Milhau, Alby,

Gaillac, Montauban et Moissac, où il rejoint la Garonne, après un parcours de 510^k,5 et une chute de 1307^m,52; il arrose une vallée étendue et fertile.

Après avoir coulé sur les terrains primitifs du massif central, il traverse le terrain jurassique sur 85 kilomètres, et rentre sur les terrains primitifs qu'il quitte brusquement, aux environs d'Alby, par une chute de 15 mètres qu'on appelle le saut de Sabo. A partir de là il coule au milieu des terrains d'alluvion. En voici les diverses sections.

	Longueur.	Pente kilométrique.
De la source au saut-de-Sabo.	163 ^k ,0	0 ^m ,74
Saut-de-Sabo de 15 mètres de chute.		
Du Saut-de-Sabo à Alby.	9 ^k ,5	0 ^m ,65
D'Alby à Gaillac.	29 ^k ,0	1 ^m ,05
De Gaillac au confluent de l'Agout près St-Sulpice.	50 ^k ,5	0 ^m ,60
De là à Montauban.	40 ^k ,5	0 ^m ,42
De Montauban à Moissac.	54 ^k ,0	0 ^m ,55
De Moissac à la Garonne.	4 ^k ,0	0 ^m ,58

A Montauban, le débit d'étiage est de 20 mètres cubes; les crues de 1 mètre donnent un débit de 140 mètres cubes, et les crues extrêmes de 10 mètres un débit de 4000 mètres cubes.

Le Tarn ressemble singulièrement au Lot. Il présente, dit M. Krantz, les mêmes difficultés d'amélioration, et les travaux importants qu'on y a entrepris ont abouti au même insuccès.

Colbert fit construire, sur le Tarn, quelques barrages éclusés; il fut, en l'an XI, classé comme navigable depuis le saut de Sabo.

Diverses lois ont depuis alloué à la rivière du Tarn, 4.530.000 francs, dont 4.200.000 francs ont été dépensés en amont de Gaillac. Cela fait 51.000 francs par kilomètre.

Les écluses ont 5^m,20 à 6 mètres de large et 52^m,75 à 45^m,80 de long. Quelques-unes sont encore à poutrelles. Le mouillage réglementaire, de 1^m,20, tombe à 0^m,60 en étiage dans beaucoup de biefs.

Les chemins de fer ont tué la navigation du Tarn, qui n'est plus que de 4100 tonnes au parcours entier, et qui, en 1862, était dix-huit fois plus considérable.

Aujourd'hui, l'intérêt des capitaux dépensés grève de 0^f,58 chaque tonne kilométrique, et l'entretien grève chaque tonne de 12 centimes; le fret moyen est de 6 centimes.

Les dépenses à faire pour l'amélioration complète du Tarn seraient très-élevées, et ne donneraient que des résultats économiques bien incertains; il semble convenable pour le moment de se borner à l'amélioration de la section comprise entre le confluent de l'Agout et Montauban.

Comme le fait remarquer M. Krantz, il y a souvent plus d'avantages dans le midi à consacrer les eaux des rivières aux irrigations qui sont nécessaires à l'agriculture, qu'à en faire des voies de transport: pour cette fonction, les chemins de fer leur sont préférables.

5. Le Salat. — Classé comme navigable sur 17^k,45, entre Lacave et Saint-Martory, ce cours d'eau n'est navigable que de nom.

6. L'Ariège. — L'Ariège prend sa source près du val d'Andorre et se jette dans la Garonne à quelques kilomètres en amont de Toulouse. Classé comme navigable sur 52^k,5, il donne lieu à un trafic annuel de 2000 tonnes au parcours entier. Il n'y a aucun intérêt à l'améliorer.

7. La Baïse. — La Baïse, entre sa source au plateau de Lannemezan et son confluent avec la Garonne, a une longueur de 160 kilomètres et une chute de 532 mètres. Elle arrose Mirande, Condom et Nérac.

La Baïse, qui reste continuellement sur des terrains d'alluvion récents et sur des terrains tertiaires, a un débit très-régulier, qui n'est pas affecté de crues violentes. Maintenant qu'on y a versé les eaux de la Neste, le débit d'étiage, qui tombait très-bas, ne descend guère au-dessous de 1^m,50.

Entreprise sous Henri IV, la canalisation de la Baïse fut poussée d'abord jusqu'à Nérac; reprise en 1812, elle est arrêtée aujourd'hui à Saint-Jean-Pontge, à 85^k,50 du confluent.

La pente varie de 0^m,90 à 1^m,10 par kilomètre : les écluses, assez multipliées, ont 4^m,24 à 6 mètres de large, et 27^m,50 à 55^m,20 de long; le mouillage réglementaire est de 1^m,20 en lit de rivière, il n'est pas maintenu pendant les sécheresses.

La Baïse est une voie navigable assez fréquentée, bien que défectueuse sur certains points; en 1868, le trafic au parcours entier s'est élevé à 21.400 tonnes; le fret est de 0^f,06; l'entretien grève en outre chaque tonne kilométrique de 0^f,017, et les intérêts du capital engagé grèvent chaque tonne de 0^f,068.

8. Les Esteys. — Les Esteys sont les sept petits affluents qui se jettent dans la Garonne entre Cadillac et Bordeaux : leur longueur navigable est de 6^k,10. Leur trafic se confond avec celui du fleuve.

3° GROUPE DES CANAUX

Le groupe des canaux comprend :

1° Le canal latéral à la Garonne, longueur	210 ^k ,68
2° Le canal du Midi	277 ^k ,20
3° Les canaux des Étangs	57 ^k ,00
	544 ^k ,88
Total	544 ^k ,88

1. Canal latéral à la Garonne. — Cette magnifique artère, digne complètement de l'œuvre de Riquet, a été exécutée par l'État, qui lui aura consacré 65 millions et demi, soit 511.000 francs par kilomètre.

Le canal latéral se raccorde au canal du Midi sous les murs de Toulouse; il suit la rive droite de la Garonne, traverse le Tarn à Moissac, passe à Agen sur la rive gauche du fleuve, dans lequel il débouche à Castets, à 8 kilomètres en aval de Langon.

Le canal, latéral de 195.191 mètres de long et de 128^m,07 de chute, se relie par des embranchements, 1° au Tarn, à Montauban et à Moissac, 2° à la Garonne, à Toulouse et à Agen, 3° à la Baïse, près de Buget. La longueur de ces embranchements est de 17.484 mètres, et leur chute de 42^m,55.

Ce réseau compte 12 écluses de 6 mètres de large sur 55^m,55 de long.

Le mouillage est de 2 mètres.

L'alimentation est assurée par des eaux dérivées de la Garonne et du ruisseau de l'Avance; il serait facile de recourir, s'il le fallait, à l'Aveyron ou au Tarn.

Le canal latéral est concédé jusqu'en 1960 à la Compagnie des chemins de fer du Midi, qui perçoit à la remonte des péages de 0^r,05 et 0^r,02 par tonne de marchandises suivant la classe et à la descente, 0^r,01. Surélevés de 0^r,04 par un décret de 1858, ces droits ont été adoucis plus tard pour les houilles, les pierres, les matières encombrantes.

Néanmoins, ils empêchent la concurrence de la navigation et du chemin de fer. Le trafic est réduit au tiers de ce qu'il était en 1856 et n'atteint plus que 80.000 tonnes au parcours entier, soit 16.500.000 tonnes kilométriques.

La Compagnie concède pour l'irrigation de 785 hectares 710 litres d'eau à la seconde; elle concède aussi des chutes dont le total représente 1156 chevaux vapeur. La part de l'irrigation pourrait être augmentée.

Canal du Midi ou des Deux-Mers. — La chaîne des Cévennes est reliée aux Pyrénées par la chaîne des Corbières, qui présente, entre Villefranche et Castelnaudary, une dépression permettant un passage facile du bassin de la Méditerranée à la Garonne.

L'idée d'un canal de la Méditerranée à la Garonne fut mise en avant dès qu'on connut l'écluse.

En 1862, Pierre-Paul Riquet présenta à Colbert le projet du canal du Midi; en 1680, à la mort de Riquet, il ne restait plus qu'une lieue de ce canal à ouvrir. Vauban reçut le travail en 1684 et dit : « Je donnerais tout ce que j'ai fait et tout ce qui me reste à faire pour avoir exécuté ce travail. »

Le canal paraît avoir coûté 56 millions de francs; la propriété en est répartie en 1292 actions, dont 600 aux héritiers Caraman, 8 à divers, 592 aux dotations de l'Empire, 292 aux héritiers Riquet-Bonrepos.

La Compagnie des chemins de fer du Midi a loué, en 1858, le canal du Midi pour 40 années.

Le canal du Midi part de Toulouse, remonte la vallée de l'Hers, franchit à Naurouse la ligne de faite, descend par les vallons de Tréboul et du Fresquel dans la vallée de l'Aude, quitte cette vallée au Somail, se dirige sur Béziers, où il traverse l'Orb, franchit l'Hérault près d'Adge et aboutit au port des Onglous, sur l'étang de Thau. Les bateaux traversent cet étang et, par un petit canal, pénètrent dans le petit port de Céte.

Au Somail, se détache l'embranchement qui gagne Narbonne et aboutit au port de la Nouvelle.

La longueur de la ligne principale est de 240^k,30, et celle de l'embranchement de 56^k,90. Le point de partage de la ligne principale est à l'altitude de 189 mètres; la chute vers la Garonne est de 65 mètres et vers la Méditerranée de 188 mètres; la chute de l'embranchement est de 51^m,55.

Le canal compte 119 écluses de 6 mètres de large sur 51 mètres de long.

Le mouillage est de 2 mètres sur la ligne principale et de 1^m,50 sur l'embranchement.

Le bief de partage est alimenté par 86 kilomètres de rigole, qui vont chercher l'eau des réservoirs de Lampy et de Saint-Ferréol, contenant l'un 1.750.000 mètres cubes, l'autre 6.500.000 mètres cubes.

Les parties inférieures sont alimentées par l'Orb et par l'Hérault.

De 1855 à 1868, le trafic du canal du Midi avait diminué de plus de moitié et n'était plus, en 1868, que de 88.000 tonnes au parcours entier, soit 25 millions et demi de tonnes kilométriques.

L'élévation des péages rend la victoire des chemins de fer très-facile, même pour les matières encombrantes.

3. Les canaux des Étangs. — Les canaux des Étangs ou canaux du littoral complètent la jonction entre le canal du Midi et le canal de Beaucaire, et par suite entre la Garonne et le Rhône.

Ce groupe comprend plusieurs branches que nous allons énumérer :

1° *Le canal des Étangs* joint l'étang de Thau avec le canal de la Radelle ; autrefois, la navigation avait lieu à travers les étangs du littoral, mais ces étangs s'ensablèrent, et en 1725 les États du Languedoc leur substituèrent la voie artificielle qui prit le nom de canal des Étangs ;

2° *L'embranchement de la Peyrade* se détache du précédent au pont de la Peyrade, et aboutit dans les canaux du port de Cette ;

3° *Le canal du grau de Lez* est la partie canalisée de cette rivière qui fait suite à la concession de Grave ;

4° *L'embranchement de Carnon* relie le canal des Étangs avec le port intérieur de Carnon.

5° *L'embranchement du canal de Lunel* est l'ancien canal de Lunel prolongé jusqu'au canal de la Radelle, suite du canal des Étangs.

La longueur totale de ces canaux est de 45.681 mètres, ils ont coûté 159.000 francs le kilomètre et ont desservi, en 1868, un trafic qui, rapporté au parcours entier, s'est élevé à 100.000 tonnes. Ce trafic paraît être en voie d'accroissement.

À ce réseau de canaux, il faut ajouter le Lez canalisé, qui est navigable sur 11^k,4 entre le pont de Juvénal, à 1 kilomètre en aval de Montpellier, jusqu'à son embouchure dans la mer. Le Lez se divise en deux sections qui portent le nom de canal de Graves et de grau des Palavas.

500.000 francs sont à dépenser pour curer les canaux des Étangs et combattre l'envasement qui les envahit.

V. Bassin du golfe de Gascogne

Ce bassin comprend la zone du littoral entre Bayonne et la pointe de Grave ; les Landes en font partie ainsi que le bassin de l'Adour.

1° BASSIN DE L'ADOUR

Le bassin de l'Adour comprend :

1° L'Adour, navigable entre Saint-Sever et Bayonne.	126	kilomètres.
2° La Midouze, navigable entre Mont-de-Marsan et l'Adour.	45	—
3° Les affluents de la rive gauche de l'Adour, navigables sur.	219	—
Total.	388	—

1. L'Adour. — L'Adour appartient à la navigation maritime jusqu'à Bayonne. De Bayonne au Bec des Gaves, c'est une belle rivière à débit toujours considérable, à largeur variant de 150 à 400 mètres, à profondeur variant de 1^m,60 à 16 mètres. Aucune amélioration n'est nécessaire.

Du Bec des Gaves au Hourquet, confluent de la Midouze, sur une longueur de 69 kilomètres, la pente kilométrique est de 0^m,13, le débit varie de 14 mètres à 1200 mètres, le mouillage est en général de un mètre et se réduit à 0^m,40 sur quelques hauts fonds. Le lit argileux compacte n'est pas entamé par le courant, mais il est encombré de sables fins très-mobiles; cette circonstance permet de constituer très-facilement, au moyen de digues longitudinales, un lit mineur ayant un mouillage de 1 mètre.

La section du Hourquet à Saint-Sever a 52 kilomètres de long, mais elle n'est guère navigable que jusqu'à Mugron sur 14 kilomètres, où la pente kilométrique est de 0^m,50; de débit varie de 6 à 800 mètres cubes. La circulation devient insignifiante et la navigation un peu active s'arrête à Dax; le fret varie de 0^r,05 à 0^r,06 par tonne et le mouvement entre Dax et Bayonne est d'environ 56,500 tonnes au parcours entier.

2. La Midouze. — Cette rivière résulte de la jonction, à Mont-de-Marsan, de la Douze et du Midou: sa longueur jusqu'à l'Adour est de 43 kilomètres, avec une pente moyenne de 0^m,59, une largeur de 50 à 55 mètres et un débit variant de 12 à 550 mètres cubes. On réalise un mouillage de 0^m,80 au moyen de rétrécissements. Avec deux barrages éclusés coûtant 500,000 francs, on obtiendrait un mouillage de 1^m,60. Le trafic au parcours entier est de 2700 tonnes.

3. Les affluents de la rive gauche de l'Adour. — Ces affluents sont le Luy, les Gaves réunis, la Bidouze, l'Aran, l'Ardanabia et la Nive.

Le Luy. — Le Luy est navigable sur 24^k,5 entre le moulin d'Oro et l'Adour; eaux abondantes, cours régulier, pente kilométrique 0^m,55; mouillage de 0^m,25 sur les hauts fonds. Facile à améliorer.

Les Gaves réunis. — Ils résultent de la jonction du Gave de Pau et du Gave d'Oloron. Cette rivière est navigable depuis Peyrehorade jusqu'à l'Adour sur 9^k,42. D'un débit abondant, d'une pente faible et d'un mouillage élevé, elle dessert un trafic de 8500 tonnes au parcours entier.

La Bidouze. — Navigable du pont de Came à l'Adour, sur 17^k,7, avec un mouillage de 1 à 6 mètres; elle dessert les carrières de Bidache et donne un trafic de 40,700 tonnes au parcours entier.

L'Aran. — Navigable sur 10^k,8 à l'aval du moulin Bardos, l'Aran est surtout navigable à l'aide de la marée; il transporte 5240 tonnes qui se composent surtout des fruits de la vallée d'Aran.

L'Ardanabia. — Navigable sur 8 kilomètres à l'aval de Portoberry, cette rivière transporte 5850 tonnes par an.

La Nive. — Classée comme navigable entre Cambo et l'Adour sur 22 kilomètres, la Nive donne lieu à une navigation lente, difficile et coûteuse, qui néanmoins paraît s'élever à 16,700 tonnes au parcours entier.

Remarque générale. — Les cours d'eau du bassin montagneux de l'Adour ne peuvent être navigables que sur une faible étendue, dans leurs cours inférieurs; ils ne desservent qu'un trafic local et peu d'industries.

Ces cours d'eau n'ont donc pas grande importance en tant que voies navigables; il faut les considérer comme destinées à jouer surtout un rôle agricole et à fournir à l'industrie des forces motrices considérables et gratuites.

Il y aurait lieu seulement de dépenser 1,500,000 francs pour améliorer la

navigation de l'Adour jusqu'au Lourguet et 50,000 francs pour améliorer celle de la Midouze jusqu'à Mont-de-Marsan.

Enfin, on pourrait relier le bassin de l'Adour à celui de la Garonne au moyen d'un canal à point de partage, partant de Mont-de-Marsan et aboutissant à Lavadac sur la Baise. Ce canal, décrété en 1808 sous le nom de canal des petites Landes, coûterait au moins 20 millions et pourrait rendre de grands services pour l'irrigation.

2° BASSIN DES LANDES

Le bassin des Landes s'étend de l'embouchure de l'Adour à la pointe de Grave sur une longueur de 225 kilomètres et une surface de 5500 kilomètres carrés. Il est borné à l'est par une chaîne de 80 à 150 mètres d'altitude et est constitué par une grande plaine de sable inclinée vers la mer avec une pente de 0^m,001; cette plaine de sable quartzeux reposant sur l'argile ou conglomérat argileux compacte, est séparée de l'Océan par les dunes, jadis mobiles et envahissantes, aujourd'hui fixées grâce au génie persévérant de l'ingénieur Bremontier.

En traitant des dessèchements de marais, nous avons présenté une description complète des Landes et indiqué les travaux entrepris pour les assainir.

Les cours d'eau ne peuvent déboucher à la mer puisque les dunes leur barrent le passage; elles s'accumulent donc en arrière de celles-ci et transforment le pays en étangs ou en marécages. Un canal latéral à la côte, établi dans le pli le plus bas du terrain, peut seul procurer l'évacuation complète des eaux stagnantes.

Les voies navigables existant dans le bassin des Landes sont :

1° Le *vieux Boucau*, qui conduit à la mer les eaux de l'étang de Soustous et des étangs voisins; longueur 7^k,25; largeur 10 à 15 mètres; mouillage 0^m,90; trafic restreint;

2° La *Leyre*, navigable sur 5 kilomètres en amont du bassin d'Arcachon et flottable sur 60 kilomètres; navigation difficile et embryonnaire;

3° Le *canal d'Arcachon*, depuis longtemps commencé et aujourd'hui en ruine, destiné à réunir le bassin d'Arcachon aux étangs de Cazeaux, de Parentis et d'Aureilhan; la Compagnie concessionnaire n'a rien fait et encourt la déchéance.

On voit qu'en somme la région des Landes est dépourvue de voies navigables; et comme les matériaux d'empierrement lui font aussi défaut, elle en est réduite au chemin de fer de Bordeaux à Bayonne qui passe par Dax et Morcenx.

Il faudrait établir dans la partie basse un canal latéral à l'Océan; la première solution qui se présente à l'esprit est de relier le chapelet des étangs, mais ces étangs sont à des niveaux différents et exigeraient de nombreuses écluses pour se raccorder, et certains d'entre eux sont assez étendus pour que les vents d'ouest y soulèvent de violentes tempêtes. Il faut donc se tenir à l'est des étangs, en reliant le canal avec eux. Ce canal des grandes Landes partira de l'Adour aux environs de la Marquèse et aboutira dans la Garonne à Bordeaux, de manière à mettre ce dernier port en communication directe avec Bayonne; il aura 212 kilomètres de développement et pourra tout d'abord être construit à une

seule voie avec ouvrages d'art en charpente; il coûtera 150,000 francs le kilomètre, soit en tout 32 millions de francs. L'exécution en est possible en abandonnant à des concessionnaires de puissantes chutes non utilisées, des forêts domaniales non exploitables actuellement et en leur accordant une partie de la plus-value que la création de la voie nouvelle déterminera dans le pays.

VI. Bassins de la Charente et de la Sèvre Niortaise

La Charente et la Sèvre Niortaise séparées par des ondulations peu sensibles ne constituent pour ainsi dire qu'un seul bassin, intermédiaire entre celui de la Gironde et celui de la Loire.

Ce bassin comprend, en le suivant à partir du Nord :

1° Le Lay, navigable sur.	22 ^k ,4
2° Le canal de Luçon, navigable sur.	14 ^k ,2
3° La Sèvre Niortaise et ses affluents, le Mignon et les Autises, navigables sur.	168 ^k ,0
4° La Vendée, navigable sur.	25 ^k ,4
5° Le canal de Marans à la Rochelle, navigable sur.	25 ^k ,96
6° La Charente et ses affluents, navigables sur.	274 ^k ,9
7° La Sèvre, navigable sur.	22 ^k ,0
Total.	510 ^k ,86

1. Le Lay. — Classé comme navigable depuis Beaulieu jusqu'à la mer, le Lay n'est réellement navigable, et encore pour les petits bateaux remontant avec la marée, que depuis la levée de Claye jusqu'à la mer. Le trafic moyen peut être évalué à 7000 tonnes.

2. Le canal de Luçon. — La ville de Luçon est reliée à la rade de l'Aiguillon par un canal établi entre les digues des marais desséchés.

Ce canal, alimenté habituellement par les eaux de mer, a une longueur de 14^k,2, un mouillage de 5 mètres et une écluse de 6^m,50 sur 50 mètres. Pendant les débordements de la Vendée, il reçoit par un canal de ceinture, dit canal des Hollandais, les eaux surabondantes de la rivière de la Vendée. Il dessert un trafic local qui, rapporté au parcours entier, s'élève à 31,700 tonnes par an.

3. La Sèvre Niortaise et ses affluents. — La Sèvre Niortaise est navigable sur 81 kilomètres entre Niort et la mer; pente kilométrique 0^m.14; débits d'étiage très-faibles, débits des crues 200 mètres cubes; mouillage en basses eaux 1^m,40 à 1^m,60; sept écluses, rachetant une pente totale de 7^m,50, ont 5^m,20 de large sur 35 à 41 mètres de long. Trafic au parcours entier 5000 tonnes.

A la Sèvre Niortaise se rattachent un grand nombre de bras latéraux et d'embranchements qui rendent de réels services et dont la longueur est de 62 kilomètres.

Les Autises. — L'Autise prend naissance à la limite des départements de la Vendée et des Deux-Sèvres et se divise en deux bras qui se jettent dans la Sèvre, l'un à l'Ouillette, c'est la vieille Autise de 9^k,6 de long, l'autre à Maillé, c'est

la jeune Autise de 9 kilomètres de long. Ces deux cours d'eau sont en médiocre état et ne transportent que 15,000 tonnes kilométriques.

Le Mignon. — La rivière naturelle a été en partie remplacée par un canal. La voie navigable entière a une longueur de 16^k,1 en amont de Bazoin, confluent de la Sèvre. Le canal du Mignon n'existe que sur 10^k,9, avec un mouillage de 1^m,60, une largeur de 4 mètres au plafond et de 10 mètres à la ligne d'eau, pente totale 1^m,40 rachetée par deux écluses de 5^m,20 de large sur 34 mètres et 36^m,50 de long. Le trafic au parcours entier du Mignon est de 9,400 tonnes.

4. **La Vendée.** — Navigable jusqu'à Fontenay sur 25^k,4, elle présente deux écluses de 5^m,20 de large et de 29^m,40 et 54^m,44 de long; l'une est au confluent de la rivière de Longèves, l'autre au confluent de la Sèvre dont les grosses eaux se trouvent ainsi arrêtées.

Ces écluses rachètent chacune une chute de 2^m,10.

Le mouillage en lit naturel descend quelquefois à 0^m,60; en dérivation, il est toujours au-dessus de 1^m,50.

Il serait facile d'améliorer la situation. Le trafic au parcours entier est de 12,000 tonnes.

5. **Le canal de Marans à la Rochelle.** — Le canal destiné à amener à la Rochelle les blés, les sels, les vins et eaux-de-vie du bassin, commencé en 1801 est à peine achevé. Il a une longueur de 25^k,96 et aura coûté 553,000 fr. le kilomètre.

Ce prix élevé de revient paraît tenir surtout à ce que le travail a été exécuté en régie avec l'aide des condamnés.

Le canal a un seul bief, fermé à ses extrémités par des écluses de 5^m,20 sur 29^m,50; il présente un souterrain de 842 mètres ouvert dans le calcaire oolithique. Il est alimenté par les eaux de marais et par les sources du calcaire.

Voies navigables des marais. — Les marais de la Sèvre et de la Vendée sont en outre sillonnés d'un grand nombre de rivières, canaux et rigoles navigables, qui suppléent aux voies de terre et sur lesquels sont employées plus de 8500 embarcations.

6. **La Charente et ses affluents.** — La Charente prend naissance à Cheronnac (Haute-Vienne) dans le massif central; elle ne tarde pas à pénétrer dans le terrain jurassique qu'elle quitte à Angoulême pour entrer dans le terrain crétacé.

Elle baigne Civray, Angoulême, Jarnac, Cognac, Saintes, Tonnay et Rochefort. Sa longueur totale est de 340 kilomètres.

D'une faible pente dans sa partie navigable, d'un débit régulier variant de 40 à 300 mètres cubes, elle a été de toute antiquité parcourue par la navigation jusqu'à Cognac. Améliorée jusqu'à Montignac, à 25 kilomètres à l'amont d'Angoulême, elle n'est réellement utilisée que jusqu'à cette dernière ville.

D'Angoulême à Saintes, la navigation est fluviale; de Saintes à Tonnay, la navigation est mixte, et la marée donne à Saintes un mouillage de 2^m,30; en aval de Tonnay, la navigation est maritime.

Entre Angoulême et Tonnay, on compte 18 écluses de 6^m,35 à 6^m,65 de large et de 58^m,65 à 41^m,60 de long.

Le trafic au parcours entier est d'environ 10 millions de tonnes kilométriques: le fret entre Angoulême et Tonnay est de 0^l,028 à la descente et 0^l,043 à la remonte.

Avec une dépense de 1 million on porterait à 2 mètres le mouillage entre Angoulême et Saintes et on obtiendrait une excellente voie navigable.

La Boutonne. — Cet affluent est navigable sur 50^k,9 entre le pont de Taille-

bourg près Saint-Jean-d'Angély jusqu'à Carillon, confluent de la Charente.

Pente kilométrique moyenne $0^m,26$; 3 écluses de $7^m,50$ sur $27^m,50$ à $34^m,50$. La navigation est très-difficile par suite de la rapidité du courant et des hauts-fonds qui obstruent le lit de la rivière. Trafic au parcours entier : 5000 tonnes.

Le canal de Charras. — Ce canal, de $20^k,60$ de longueur, a surtout pour but le dessèchement des marais de Rochefort : il se jette dans la Charente sous des arches de 2 mètres de large fermées par des portes. Trafic peu considérable.

Le canal de la Charente à la Seudre. — Ce canal comprend l'ancien canal de Brouage terminé sous le premier Empire pour le dessèchement des marais de Rochefort, la jonction du canal de Brouage à Marennes et le canal de Marennes à la Seudre. Il possède deux écluses extrêmes et un mouillage normal de $2^m,60$. Trafic au parcours entier : 7000 tonnes pour le canal de Brouage $20^k,2$, 6000 tonnes pour la jonction à Marennes $11^k,8$, et 23,500 tonnes pour le canal de Marennes à la Seudre $3^k,4$.

7. La Seudre. — La Seudre, entre Ribéron et la mer sur 22 kilomètres, a un mouillage de $3^m,25$ au minimum et dessert une navigation maritime qui s'élève à 16,800 tonnes au parcours entier.

Travaux à exécuter dans le bassin. — Les voies navigables du bassin de la Sèvre Niortaise et de la Charente desservent surtout un trafic local et conduisent aux ports de la côte les produits du fertile pays qu'elles parcourent.

Il faut donc surtout songer à les améliorer en elles-mêmes sans chercher tout d'abord à les relier, soit entre elles, soit avec les autres bassins.

Plus tard, il sera utile de joindre la Sèvre et la Charente par un canal reliant la Boutonne prise à Tonnay avec le Mignon pris à Mauzé ; ce canal de 20 kilomètres de long coûterait 3 millions de francs.

Il sera utile aussi de relier la Sèvre Niortaise avec la grande ligne projetée de la Loire et de la Garonne, ce qui permettrait aux produits et aux charbons de l'intérieur d'arriver économiquement jusqu'à la côte de Rochefort et de la Rochelle.

VII. Bassin de la Loire

Les voies navigables du bassin de la Loire peuvent se partager en trois groupes :

- 1° La Loire;
- 2° Les affluents et voies navigables de la rive droite;
- 3° — de la rive gauche.

1° LA LOIRE

Description générale. — La Loire prend naissance au Gerbier-des-Jones (Ardèche) dans le massif granitique du centre à l'altitude 1408 ; sa direction

générale, d'abord du sud au nord, s'infléchit brusquement vers l'ouest à Orléans, et va tomber dans l'Océan à Paimbœuf après un parcours de 980 kilomètres. Son aspect en plan est celui d'un compas ouvert dont les deux branches feraient un angle d'environ 100°.

L'étendue de son bassin, qui s'étend surtout sur la rive gauche, est de 115,121 kilomètres carrés. Les déclivités dans les diverses sections du fleuve sont indiquées au tableau ci-après :

DÉSIGNATION DES SECTIONS.	LONGUEUR.	CHUTE TOTALE.	PENTE KILOMÉTRIQUE.
	kil.	mèt.	mèt.
Du Gerbier-des-Jones à Retournac.	122	905,04	7,41
De Retournac à Roanne.	150	250,52	1,77
De Roanne au Bec-d'Allier.	178	104,82	0,58
Du Bec-d'Allier à Briare.	95	42,92	0,45
De Briare à Orléans.	85	34,75	0,41
D'Orléans au confluent du Cher.	141	51,76	0,37
Du confluent du Cher à Saumur.	50	14,35	0,28
De Saumur aux ponts de Cé.	42	8,28	0,19
Des ponts de Cé jusqu'à la mer.	159	15,76	0,11
Total.	980	1408,00	1,44

Pour le niveau d'étiage et pour des hauteurs de 1, 2 et 3 mètres au-dessus de l'étiage la vitesse des eaux atteint

Entre Briare et Orléans.	0 ^m ,60	1 ^m ,12	1 ^m ,65	1 ^m ,94
Entre Orléans et Blois.	0 ^m ,59	1 ^m ,17	1 ^m ,55	1 ^m ,84
Entre le Cher et la Vienne.	0 ^m ,55	1 ^m ,06	1 ^m ,42	1 ^m ,68
Entre Saumur et les Ponts de Cé.	0 ^m ,40	0 ^m ,81	1 ^m ,12	1 ^m ,32
En amont de Nantes.	0 ^m ,35	0 ^m ,75	0 ^m ,91	1 ^m ,12

En 1856, les débits maxima et minima du fleuve ont été les suivants :

DÉSIGNATION DES SECTIONS.	MAXIMUM.	MINIMUM.	RAPPORT DES EXTRÊMES.
	m. c.	m. c.	
Bec-d'Allier.	9000	50	300
Orléans.	7500	45	166
Blois.	6900	50	158
Tours.	6441	64	100
Ponts de Cé.	6097	110	55
Nantes.	6115	500	20

D'après l'examen des pentes et des vitesses, on reconnaît que la Loire ne se prête guère à une bonne navigation en amont d'Orléans.

Sur tout le parcours, le rapport élevé du débit des crues au débit d'étiage est une grande gêne et rend difficile l'établissement des ouvrages en rivière.

En été, un mince filet d'eau divague à travers les bancs de sable d'un lit beaucoup trop large.

Lors des crues, la vallée entière est exposée aux plus grands désastres.

45,000 kilomètres carrés du bassin de la Loire appartiennent au sol imperméable des formations primitives et alimentent des rivières à pentes rapides, de sorte que les pluies continues arrivent tout entières jusqu'au fleuve en fort peu de temps : une couche de pluie de 0^m,10 amènerait dans la vallée principale 5 à 4 milliards de mètres cubes ; si cette couche résultait d'une pluie continue, tout ce volume arrivant à la fois dans le fleuve ne pourrait jamais y trouver un débouché suffisant.

Heureusement tous les affluents de la Loire ne sont pas soumis aux mêmes influences atmosphériques : en amont du Bec-d'Allier, la pluie tombe par les vents du midi ; le Cher, l'Indre, la Vienne et le Thouet reçoivent la pluie par les vents d'ouest ; la Maine et l'Authion agissent comme modérateurs des crues du fleuve, ils emmagasinent une partie des eaux en excès qui s'épanchent dans leurs vallées.

D'après M. Krantz, il est impossible d'imaginer contre les inondations des palliatifs d'un effet assuré, car le nombre des combinaisons entre les crues des affluents est considérable, et rien ne prouve qu'on ne verra pas se réaliser une combinaison plus terrible encore que celles qui se sont rencontrées jusqu'à ce jour.

M. Krantz ne trouve le remède au fléau que dans un système général d'assurances qui prélève un léger impôt sur les années prospères pour réparer les pertes des mauvaises années.

Au point de vue de la navigation, le faible débit d'étiage est peut-être plus funeste que les crues : avec un lit de plusieurs centaines de mètres, il ne permet d'obtenir qu'un mouillage insuffisant, et il paraît bien difficile de ramener au jour les eaux souterraines qui coulent en abondance dans les profondeurs du lit perméable.

Il faut ajouter en outre que la Loire chaque année enlève à ses rives au-dessus du Bec-d'Allier 500,000 à 1,500,000 mètres cubes de déblai, que l'Allier en corrode jusqu'à 6 millions de mètres cubes par an et le Cher près de 100,000 mètres cubes.

Il faut donc compter sur un apport annuel d'au moins 2 millions de mètres cubes qui descend le fleuve avec une vitesse de 2^m,40 en été, de 9 mètres en hiver, et qui encombre tantôt une rive, tantôt l'autre jusqu'à ce qu'il gagne la mer.

On pourrait conjurer ce mal par des défenses de rive exécutées méthodiquement de l'amont à l'aval ; mais ce n'est pas là une œuvre d'une année.

Travaux exécutés. — Les principaux ouvrages exécutés sont les *turcies* ou levées destinées à protéger le Val-de-Loire et déjà réglementées au temps de Louis le Débonnaire.

Sous Louis XIV, on proposa d'améliorer la navigation au moyen de rétrécissements par digues submersibles : ce système fut appliqué en 1750 au rétrécissement ou *duis* d'Orléans, on est arrivé à constituer sur 5 kilomètres un chenal de 80 à 100 mètres de large, dont cependant le mouillage régulier n'atteint même pas 0^m,65 le long des quais d'Orléans.

D'autres expériences, celles de Chouzé par exemple, paraissent avoir condamné définitivement pour la Loire le système des rétrécissements, qui a donné de bons résultats pour l'amélioration de nos fleuves à marée.

La somme dépensée jusqu'à présent est de plus de 50 millions ; elle a surtout été utile sous le rapport de la défense des villes du val de la Loire.

État actuel de la navigation de la Loire. — En amont de Decize, le mouillage d'étiage ne dépasse pas 0^m,20 ; entre Decize et Briare, il varie de 0^m,25 à 0^m,50 ; de Briare à Orléans, il ne dépasse pas 0^m,45.

Entre Orléans et Tours, chaque année, le mouillage n'est pas utilisable pendant 60 jours, il est de 0^m,40 pendant 60 jours, de 0^m,60 pendant 70 jours, de 0^m,75 pendant 90 jours, il dépasse de 1 mètre pendant 65 jours.

Entre Tours et Angers, le mouillage est de 0^m,40 pendant 90 jours, grâce aux chevalages, il atteint 0^m,60 et 0^m,75 pendant 90 et 120 jours, il dépasse 1 mètre pendant 65 jours.

Entre Angers et Nantes, le mouillage se maintient à 0^m,65 pendant 60 jours à l'aide de chevalages ; il atteint 0^m,75 et 0^m,85 pendant 90 et 120 jours et dépasse 1^m,50 pendant 95 jours.

A l'aval de Nantes, commence la navigation maritime.

La valeur du trafic en 1868 est indiquée au tableau suivant :

	Longueur.	Trafic.
De la Nièvre à Roanne	401 kilomètr.	4980 tonnes
De Roanne à l'embouchure du canal latéral	270 —	5925 —
Du canal latéral à Combleux (canal d'Orléans) . . .	75 —	40000 —
De Combleux à l'embouchure du canal de Berry . .	424 —	52258 —
Du canal de Berry au confluent de la Vienne . . .	54 —	46500 —
De la Vienne à la Maine	62 —	164516 —
De la Maine au canal de Nantes à Brest	82 —	208529 —
	768 —	Moyenne. 50238 —

Dans chaque section, le trafic est rapporté au parcours entier, ce qui fait un total de 58 millions et demi de tonnes kilométriques.

Depuis 1855, la réduction du trafic a été de 60 pour 100 et cette réduction n'a guère porté que sur la partie haute du fleuve.

Dépense d'entretien, 450,000 francs ; produit du péage, 50,000 francs ; le fret est de 0 fr. 04 par tonne kilométrique, et chaque tonne est grevée en outre d'une dépense de 0 fr. 01 par les frais d'entretien.

Malgré les difficultés sans nombre qu'éprouve la navigation de la Loire, il faut qu'elle réponde à des besoins bien urgents pour se maintenir avec son importance actuelle.

Amélioration. — En amont d'Orléans, la Loire est suppléée par les canaux ; à l'aval de l'embouchure de la Maine, elle peut être facilement appropriée à une bonne navigation, en ayant recours par exemple à cinq barrages mobiles.

Mais entre Orléans et la Maine, qu'y a-t-il à faire ? Si on peut transformer le fleuve et arriver à lui donner par des ouvrages un mouillage de 2 mètres, il faut le conserver comme grande artère et diriger vers lui les voies secondaires. Si cette transformation paraît trop coûteuse ou trop difficile eu égard aux moyens dont on dispose, mieux vaut abandonner le fleuve et le remplacer par une autre voie.

Or, les crues ne peuvent être conjurées et suspendent la navigation pendant 25 jours par an en moyenne ; il y a en moyenne 175 jours de vents contraires à la remonte, 9 jours de chômage à cause des brouillards et 5 à cause des glaces ; le halage de rive et le touage sur chaîne noyée paraissent imprati-

cables ; l'influence du mouillage est difficile à combattre, ainsi que la marche des sables.

Donc, il semble bien qu'on ne peut obtenir, en conservant la Loire comme artère principale, qu'une solution imparfaite.

Un canal latéral de Combleux à Angers a été proposé, mais il ne desservirait qu'un côté de la vallée, et on rencontrerait dans l'exécution de nombreux obstacles.

M. l'inspecteur général Collin a présenté un projet consistant en une série de dérivations éclusées, établies dans les parties basses et faciles de la vallée, tantôt sur une rive, tantôt sur l'autre, et communiquant entre elles par des descentes éclusées dans le fleuve, le niveau de celui-ci étant relevé à chaque jonction à une hauteur suffisante au moyen de barrages mobiles.

Ce projet, quoique ingénieux, coûtera au moins 42 millions ; il traverse six fois la Loire, et c'est là le point délicat.

M. Krantz estime qu'il vaut mieux desservir chaque rive séparément, ainsi que nous aurons occasion de l'expliquer plus loin.

2° VOIES NAVIGABLES DE LA RIVE DROITE DE LA LOIRE

Les voies navigables de la rive droite de la Loire peuvent se diviser en trois groupes, savoir :

1° Le canal du Centre.	120 ^k ,9
2° Le groupe angevin.	451 ^k ,4
3° Le groupe breton.	651 ^k ,1
Total.	1225 ^k ,4

1. Canal du Centre. — Le canal du Centre, ancien canal du Charolais, réunit la Saône à la Loire.

Commencé sous Henri IV par les ordres de Sully, repris sous Louis XIV, concédé en 1783 aux États de Bourgogne, le canal du Centre fut construit et achevé en 1795 par l'ingénieur Gauthey.

Le bief supérieur est alimenté par la rigole de Torcy qui dessert le Creuzot.

Avec les dépenses de parachèvement effectuées jusqu'en 1868, le prix de revient du canal du Centre s'est élevé à 147,100 francs le kilomètre.

Le canal part de Châlon-sur-Saône à l'altitude 170^m,65, parcourt sur le versant de la Saône 48,210 mètres, s'élève à l'altitude 301^m,18, où il trouve un bief de partage de 4.045 mètres de long, descend de là vers la Loire qu'il rejoint à Digoin à l'altitude 224^m,57, après avoir parcouru sur son versant 63,744^m,70.

La dénivellation de 150^m,55 sur le versant de la Saône est rachetée par 52 écluses, et celle de 76^m,61 sur le versant de la Loire par 30 écluses.

En ajoutant au canal la rigole de Torcy de 4900^m,30, la longueur totale de la voie navigable est de 120,900 mètres.

Les écluses ont 5^m,20 sur 30^m,30 : cette dernière dimension est beaucoup trop faible. Il reste encore à élargir 5600 mètres des tranchées exécutées à une seule voie par raison d'économie.

Le mouillage varie de 1^m,55 à 1^m,86; les chômages par défaut d'alimentation sont très-rares, mais les chômages produits par les glaces atteignent un mois par an.

L'alimentation est assurée par 17 prises d'eau, par 14 réservoirs contenant 14 millions de mètres cubes (le réservoir de Montaubry seul pourrait contenir 5 millions de mètres cubes), et par deux dépôts d'emmagasinement qui récoltent le trop-plein des écoulements du canal et le mettent en réserve.

Le halage s'effectue en général à bras d'hommes, et il convient de demander aux machines ce travail pénible.

L'établissement de nombreux ports privés a donné au commerce et à l'industrie de grandes facilités.

Le trafic, consistant en vins, fontes et fers, minerais, houilles, cokes, matériaux de construction, s'élève à 260,500 tonnes au parcours entier, soit 50 millions et demi de tonnes kilométriques. On se sert de bateaux portant 120 à 150 tonnes. Le fret varie de 0 fr. 02 à 0 fr. 025.

L'entretien annuel coûte 185,000 francs et les péages rendent 125,000 francs.

L'intérêt des capitaux engagés grève chaque tonne kilométrique d'une somme de 0 fr. 031.

Les travaux urgents à exécuter pour mettre en plein rapport cette belle voie navigable s'élèvent à 1,500,000 francs.

2. Groupe angevin. — Le groupe angevin traverse un pays riche; il est formé de belles rivières, mais les travaux de canalisation tardivement entrepris n'ont pas donné tout ce qu'on en espérait.

Ce groupe comprend :

La Mayenne, depuis Brives jusqu'à la Loire.	154 ^k , 8
La Sarthe, depuis le Mans jusqu'à la Mayenne.	152 ^k , 5
Le Loir, depuis le pont de Coesmont jusqu'à la Sarthe.	115 ^k , 0
L'Authion, depuis Vivy jusqu'à la Loire.	50 ^k , 4
L'Oudon, de Segré à la Mayenne.	18 ^k , 9
Total.	451 ^k , 4

La Mayenne. — La Mayenne navigable se divise en trois tronçons :

La haute Mayenne, de Brives à Laval, longueur.	57 ^k , 0
La basse Mayenne, de Laval à Angers.	88 ^k , 6
La Maine, réunion de la Mayenne et de la Sarthe.	} 9 ^k , 2
D'Angers à la Loire.	
Total.	154 ^k , 8

La haute Mayenne a une largeur de 40 mètres, une pente moyenne de 0^m,95 par kilomètre, un débit qui varie : à Mayenne, de 1^m,75 à 146 mètres cubes, et à Laval de 2^m,5 à 260 mètres cubes. Le mouillage d'étiage descend à 1^m,25. Avec sa forte pente, la haute Mayenne devait être réservée à l'agriculture et à l'industrie; mieux valait adopter un canal latéral. On a déjà dépensé plus de 200.000 francs par kilomètre, et il reste encore à franchir six pertuis où la chute est de 0^m,80. A la remonte, la navigation est lente, difficile et dangereuse; elle est dangereuse aussi à la descente. Le taux du fret est de 0 fr. 045. Les écluses ont 5^m,20 sur 54^m,90.

La basse Mayenne a une longueur de 60 à 80 mètres, une pente moyenne de

0^m,40, un mouillage minimum de 1^m,50, un débit qui varie à Angers de 5 à 600 mètres cubes; on a pu facilement l'amener à l'état assez satisfaisant qu'elle présente, grâce à une dépense de 150.000 francs par kilomètre. Même type d'écluses que dans la section précédente.

La *Maine* est naturellement navigable sur toute son étendue avec un bon mouillage et une largeur de 100 mètres.

Le trafic au parcours entier de la moyenne est de 59,100 tonnes.

L'entretien annuel s'élève à 49,000 francs et les péages rendent 8500 francs.

L'entretien et l'intérêt des dépenses faites grèvent aux frais de l'État chaque tonne kilométrique d'une dépense de 0 fr. 16; c'est un résultat peu satisfaisant.

La Sarthe. — Canalisée autrefois au moyen de pertuis dangereux ouverts dans les barrages d'usines, la Sarthe a été améliorée au moyen d'écluses dans le siècle actuel. Il a été dépensé 48,000 francs par kilomètre, soit 6,500,000 francs; il faut encore 5 millions pour compléter cette voie navigable.

La Sarthe canalisée a 152^k,5 dont 15 en dérivation; sa largeur varie de 35 à 100 mètres; son débit en amont du Loir varie de 15 à 500 mètres cubes; sa pente kilométrique est de 0^m,22; la chute totale de 28^m,29 est rachetée par 20 écluses de 5^m,20 de large sur 32^m,5 à 35 mètres de long. Le mouillage artificiel est de 1^m,70 et tombe à 1 mètre en certains points.

Il n'y a pas de chemin de halage; il serait avantageux de lui substituer un système de touage.

Le trafic au parcours entier est de 34,100 tonnes.

La dépense d'entretien est de 36,500 francs et les péages rendent 6200 francs.

Le fret est de 0 fr. 025 et les travaux d'établissement grèvent chaque tonne kilométrique de 0 fr. 075.

Le régime de la Sarthe explique le succès des travaux entrepris.

Le Loir. — A l'aval du pont de Coesmont, sur 115 kilomètres, le Loir a une pente moyenne de 0^m,29, une largeur de 40 mètres, un débit variant de 7 à 400 mètres cubes, un mouillage qui croît de 1 mètre à 2 mètres.

Cette rivière traverse un pays fertile et est naturellement apte à fournir une bonne voie navigable. On ne sait pourquoi on n'y a tenté aucune amélioration.

Le trafic au parcours entier, malgré l'absence d'écluses et de chemins de halage, atteint encore 14,500 tonnes; le fret est de 0^r,045 et l'entretien grève en outre chaque tonne kilométrique de 0^r,015.

L'amélioration du Loir exigerait 75,000 francs par kilomètre, soit 9 millions de francs en tout.

L'Oudon. — L'Oudon est navigable sur 18^k,9 entre Segré et la Mayenne; chute totale 3^m,60 rachetée par 3 écluses de 5^m,20 sur 35^m,80. Mouillage normal 1^m,60 à 1^m,80.

La navigation est fréquemment interrompue par les crues, par la faible hauteur des ponts; il n'y a pas de chemin de halage.

Le trafic annuel est de 27,000 tonnes au parcours entier; le fret est de 0^r,11 à 0^r,14, à quoi il faut ajouter 0^r,35 par tonne kilométrique pour l'entretien et l'intérêt des dépenses faites.

L'Authion. — Classé comme navigable, l'Authion ne transporte que 900 tonnes

au parcours entier de 50^k,4. D'une pente faible et d'un débit régulier, l'Authion canalisé pourrait rendre de sérieux services.

Lors des crues de la Loire, l'Authion sert de déversoir au fleuve et le courant s'y renverse.

En somme, le bilan du réseau angevin se résume en grosses dépenses et résultats médiocres.

5. **Groupe breton.** — Le groupe breton comprend :

Le canal de Nantes à Brest, d'une longueur de . . .	367,656 mètres.
Le canal du Blavet jusqu'à Hennebont.	59,668 —
La rivière d'Aff canalisée.	8,400 —
La rivière d'Arz.	15,000 —
La rivière d'Erdre.	70,000 —
La Vilaine.	96,000 —
La rivière de Don.	8,000 —
La rivière du Cher.	5,000 —
Le canal d'Ille et Rance.	84,700 —
Total.	654,404 —

Canal de Nantes à Brest. — Destiné à relier la Loire à l'arsenal maritime de Brest, le canal de Nantes à Brest, projeté en 1784 par les États de Bretagne, commencé en 1806, fut ouvert entre la Loire et la Vilaine en 1855 et terminé en 1842.

Il a coûté 151,000 francs le kilomètre.

Il a son point de départ en Loire, à Nantes, coupe les bassins de la Vilaine, du Blavet et de l'Aulne, et présente par conséquent trois biefs de partage au Bout-du-Bois, à Hilvern et à Glomel; il se termine à l'écluse de Chateaulin, sur la rivière d'Aulne, qui débouche dans le port de Brest.

L'alimentation se fait par des dérivations de l'Isac, de l'Oust, du Blavet, de l'Aulne et de leurs affluents, et par cinq réservoirs contenant 16 millions de mètres cubes; néanmoins, la pénurie d'eau entraîne d'assez longs chômages.

La somme des dénivellations est de 355^m,04, rachetée par 255 écluses de 4^m,70 de large sur 29^m,40 à 33^m,60 de long, dimensions qui ne s'expliquent ni ne se justifient.

Mouillage normal 1^m,62, tombant en certains biefs à 1^m,20.

Le trafic à la distance entière a été de 58,000 tonnes en 1868; il avait tombé d'environ moitié à la suite de l'ouverture du chemin de fer de Nantes à Brest.

L'entretien coûte 296,000 francs, et les péages rendent 20,000 francs.

Le fret varie de 2 à 3 centimes.

Les travaux urgents à exécuter pour approfondissement et création de ports peuvent être évalués à 2 millions.

Canal du Blavet. — Le Blavet est navigable par le jeu des marées en aval d'Hennebont. Là commence le canal du Blavet qui, projeté par les États de Bretagne, ne fut commencé qu'en 1804 et livré à la navigation en 1855. — La dépense a été de 44,786 francs par kilomètre.

De l'écluse des Récollets, jonction avec le canal de Nantes à Brest, jusqu'à Hennebont la longueur est de 59,668 mètres; la chute 54^m,45 est rachetée par 28 écluses de 4^m,70 sur 30^m,60; mouillage normal 1^m,65. Halage à bras d'hommes. — Le trafic, en décroissance, était en 1868 de 12,600 tonnes au parcours entier. Fret 0^{fr},02 à 0^{fr},05.

Pour assurer le mouillage, créer des ports et abaisser le dernier bief, il y a à faire une dépense urgente de 500,000 francs.

Rivière d'Aff. — Navigable depuis le Gacilly jusqu'à l'Oust sur 8100 mètres. Pente 0^m,12, mouillage 1^m,10. Trafic au parcours entier 2100 tonnes.

Rivière d'Arz. — Navigable sur 15 kilomètres entre le second pont d'Arz et la partie canalisée de l'Oust qui fait partie du canal de Nantes à Brest. Pente 0^m,12, mouillage 0^m,80. Navigation pénible. Trafic au parcours entier : 2000 tonnes.

Rivière d'Erdre. — Navigable depuis Nort jusqu'à son embouchure dans la Loire à Nantes, elle est incorporée sur la plus grande partie de sa longueur au canal de Nantes à Brest. Un service de remorquage à vapeur y a été établi.

Sur 7 kilomètres en amont du canal, l'Erdre est étroite et sinueuse, mais présente un mouillage d'au moins 1^m,50, si bien qu'elle dessert un trafic de 35,700 tonnes au parcours entier.

La Vilaine. — Entre les Cessons et Rennes, la pente de la Vilaine est de 0^m,26 par kilomètre ; son débit à Redon varie de 2 à 400 mètres cubes. Elle est donc facile à canaliser.

Tentée sous François I^{er} en 1558, la canalisation de la Vilaine fut reprise en 1837 ; on a enlevé les hauts-fonds, élargi les chemins de halage, ouvert un canal de dérivation, établi des pertuis à aiguilles et on a dépensé 37,500 francs par kilomètre.

Les 90 kilomètres entre Rennes et Redon font suite au canal d'Ille et Rance ; en amont de Rennes, la navigation se fait encore sur 6 kilomètres.

Pente totale 26 mètres, rachetée par 15 écluses de 4^m,45 à 5^m,20 de large sur 25^m,20 à 33 mètres de long. Mouillage normal 1^m,30.

Trafic au parcours entier : 25,000 tonnes, deux tiers en remonte, un tiers en descente. Il a baissé de moitié de 1861 à 1865 par suite de l'ouverture du chemin de fer.

Le Don. — Naturellement navigable depuis l'aval de Guéméné jusqu'à la Vilaine sur 8 kilomètres, le Don a une pente de 0^m,12, un mouillage variant de 0^m,50 à 1 mètre et ne transporte guère que de la chaux.

Le Cher. — Naturellement navigable sur 5 kilomètres entre l'aval de Fougeray et la Vilaine, le Cher a une pente de 0^m,20, un mouillage variant de 0^m,40 à 2 mètres ; il ne transporte guère que les ardoises des carrières voisines.

Canal d'Ille et Rance. — Projeté par les États de Bretagne, commencé en 1804, ouvert en 1837, le canal a coûté 169,000 francs le kilomètre ; partant de Rennes, il remonte la vallée d'Ille, franchit la ligne de faite à Hédé, à l'altitude 64 mètres, descend dans la vallée de la Rance qu'il suit jusqu'à 6 kilomètres en aval de Dinan. Par la Rance, le canal aboutit à Saint-Malo.

La chute, de 42^m,25 vers la Vilaine et de 62^m,70 vers la Rance, est rachetée par 48 écluses de 4^m,70 sur 29 mètres.

L'alimentation se fait par des étangs d'une capacité de 5 millions et demi de mètres cubes et par des rigoles de 20,500 mètres de long. Mouillage normal 1^m,60, réduit en été à 1^m,25.

Le halage se fait par chevaux ; le fret est de 2 à 3 centimes ; le trafic au parcours entier, 84,700 tonnes, est de 40,000 tonnes.

Le trafic est en voie de décroissance continue, bien que la voie navigable soit passable ; mais cette voie manque de ports et n'est reliée à aucune voie de terre.

Observations générales sur le réseau breton. — Chaque tonne kilométri-

que transportée sur le réseau breton coûte 0^{fr},04 de fret; elle est grevée de 0^{fr},19 par l'intérêt du capital d'établissement et de 0^{fr},02 par les frais d'entretien. Elle revient donc en tout à 0^{fr},25.

Au point de vue économique, la conception des États de Bretagne serait donc défectueuse; elle l'est devenue par l'établissement des chemins de fer, mais elle était, à l'origine, éminemment utile: elle réunissait entre eux les cinq ports de guerre et de commerce: Nantes, Redon, Lorient, Brest et Saint-Malo, elle sillonnait la province et permettait d'amener partout les engrais et les chaux qui seuls sont susceptibles de mettre en valeur les qualités du sol breton.

Aujourd'hui les chemins de fer l'emportent sur le réseau navigable; mais celui-ci dessert encore bien des points que la voie ferrée n'atteint pas, et il agit comme modérateur pour empêcher l'élévation des tarifs sur les voies concurrentes: chemins de fer et cabotage.

Travaux neufs à exécuter sur la rive droite de la Loire. — Le réseau des voies bretonnes ne sort pas de la province et il faut le réunir aux riches vallées du Maine et de l'Anjou, pour permettre entre les deux pays l'échange de leurs produits différents.

Les trois rivières, qui se réunissent en amont d'Angers pour former le Maine, peuvent être avantageusement reliées entre elles, et il importe surtout de les relier avec les voies navigables de l'Est de la France, car la Loire n'est jusqu'à présent qu'un trait d'union bien imparfait.

Il importe encore de mettre les terrains granitiques du centre de la Bretagne en rapport direct avec les baies de Saint-Brieuc et du mont Saint-Michel, qui possèdent en abondance les engrais de mer et amendements calcaires.

Enfin, il faut signaler les communications à établir entre la Basse-Normandie et l'Anjou, entre le bassin de l'Orne et le bassin de la Mayenne dont les dernières ramifications se pénètrent.

La grande artère à créer de l'est à l'ouest est la ligne de jonction du canal d'Orléans avec le canal de Nantes à Brest. En voici les tronçons:

1^o *Jonction du canal d'Orléans avec le Loir.* — A Freteval, le Loir a encore une pente faible, un débit abondant et régulier, il n'est qu'à 60 kilom. d'Orléans et au niveau de la Loire. Le faite à franchir n'est qu'à 40 mètres au-dessus des deux cours d'eau.

L'alimentation serait assurée par les eaux à recueillir sur le plateau et, au besoin, par une dérivation du Loir supérieur.

Longueur totale: 70 kilomètres, dépense 170,000 francs le kilomètre.

Il faudrait en outre améliorer le Loir sur 75 kilomètres entre l'embouchure du canal précité et le pont de Coesmont près Château-du-Loir; cette amélioration coûterait 100,000 francs le kilomètre.

2^o *Jonction du Loir et de la Sarthe.* — Entre Porte-Bise et le moulin de Vaux, la distance du Loir à la Sarthe est de 5 kilomètres; elle est de 56 quand on fait le tour par le confluent. Une coupure qui coûterait 1,500,000 francs est donc nécessaire.

De même une coupure de 19 kilomètres et du prix de 3 millions et demi est nécessaire entre la Sarthe prise à l'aval de Châteauneuf et la Mayenne en amont de Montreuil.

Enfin, une dernière coupure de 2 kilomètres relierait la Mayenne et l'Oudon.

3^o *Jonction de l'Oudon et de la Vilaine.* — Remontant le lit de l'Oudon jusqu'à Segré, on s'élèverait ensuite par un canal jusqu'à la ligne de faite vers Carbay, on descendrait dans la vallée du Cher pour entrer dans la Vilaine après

un parcours de 85 kilomètres. La somme des dénivellations serait de 117 mètres, le prix de revient s'élèverait à 180,000 francs le kilomètre.

4° *Jonction du Loir avec la Loire à Tours.* — La grande artère de l'est à l'ouest serait reliée à la Loire par un canal transversal partant de Château-du-Loir et aboutissant à Tours. C'est un canal à point de partage dont le bief supérieur est à 144 mètres d'altitude, les extrémités se trouvant aux altitudes 45 et 51.

Par les nouvelles voies, les distances de Tours à Orléans et aux Ponts de Cé seraient de 175 et 156 kilomètres, tandis que par la Loire elles sont de 122 et 111 kilomètres; néanmoins, la batellerie aurait avantage à ne plus suivre le fleuve.

3° VOIES NAVIGABLES DE LA RIVE GAUCHE DE LA LOIRE

Bien que très-étendu, le réseau des voies navigables de la rive gauche de la Loire ne rend que des services insignifiants à cause du mauvais état du fleuve lui-même; le canal latéral à la Loire et le canal du Berry font seuls exception. Ce réseau comprend :

1° La Dore, classée comme navigable sur	55 ^k ,0
2° L'Allier	252 ^k ,2
3° Le Loiret	5 ^k ,8
4° La Creuse	15 ^k ,4
5° La Vienne	74 ^k ,5
6° Le Thouet	18 ^k ,7
7° Le Layon	58 ^k ,8
8° La Sèvre Nantaise	21 ^k ,5
9° La petite Maine	4 ^k ,0
10° L'Âcheneau, le lac de Grandlieu et affluents . . .	65 ^k ,8
11° Le canal latéral à la Loire	265 ^k ,2
12° Le canal de la Sauldre	45 ^k ,27
15° Le canal du Berry	522 ^k ,5
14° Le canal de Dive et Thouet	42 ^k ,8

Total 1201^k,07

1. **La Dore.** — Sur 55 kilomètres à l'amont de son confluent avec l'Allier, la Dore est parcourue par les bateaux pendant quelques mois de l'année et presque uniquement à la descente. C'est une rivière d'allure torrentielle qui ne peut constituer une voie navigable.

2. **L'Allier.** — L'Allier a sa source à Largentière dans les Cévennes à l'altitude 1458 et rejoint la Loire au Bec-d'Allier à l'altitude 169 après un parcours de 561 kilomètres.

Considérée comme navigable sur 252^k,2, depuis Fontaines jusqu'à la Loire, l'Allier a une pente moyenne de 1^m,45 entre Fontaines et la Dore, de 0^m,80 entre la Dore et Vichy, de 0^m,76 entre Vichy et Moulins, de 0^m,66 entre Moulins et la Loire.

Le lit est une série de hauts-fonds interrompue par quelques mouilles très-courtes. L'Allier coule dans un bassin imperméable et peu boisé; c'est donc un véritable torrent qui présente des crues violentes et subites.

La navigation n'est et ne saurait être que précaire sur une pareille voie.

Le trafic est d'environ 5600 tonnes au parcours entier.

3. **Le Loiret** — Ne rend à la batellerie d'autre service que de remiser son matériel à l'époque des crues et des glaces.

4. **La Creuse.** — Le flottage, autrefois très-important sur la Creuse, a disparu. Elle est classée comme navigable sur 15^k,4 entre Rives et le confluent de la Vienne et présente une seule écluse de 5^m,50. Pente faible, débit régulier, mouillage tombant à 0^m,40 en basse eaux. La Creuse pourrait facilement être améliorée; mais il ne paraît pas y avoir grand intérêt à le faire. Le trafic est d'environ 5000 tonnes au parcours entier.

5. **La Vienne.** — La Vienne part du massif central de la France, près d'Ussel, à l'altitude 858 mètres, et vient déboucher dans la Loire à Candès, en amont de Saumur, à l'altitude 29^m,82 après un parcours de 545 kilom. Superficie du bassin : 20,967 kilomètres carrés.

A Châtellerault commence la partie navigable; entre Châtellerault et le confluent de la Creuse, la distance est de 25 kilomètres, la pente moyenne est de 0^m,52; entre la Creuse et la Loire, la distance est de 49^k,3 et la pente moyenne 0^m,40 par kilomètre. Le débit à Châtellerault varie de 20 à 1400 mètres cubes, l'amplitude de la variation s'atténue à mesure qu'on s'éloigne des montagnes.

Laissée à l'état naturel, elle voit son mouillage tomber à 0^m,50 en basses eaux. En 1869, le trafic au parcours entier, 74^k,5, n'a été que de 8200 tonnes. Frêt : 0^f,04.

Avec 80,000 francs par kilomètre on transformerait la Vienne en une bonne voie navigable.

6. **Le Thouet.** — Le Thouet est classé comme navigable sur 50^k,54 entre le moulin de Couché et son embouchure en Loire à 4 kilomètres en aval de Saumur.

De cette longueur il faut retrancher 11^k,84 empruntés par le canal de Dives et Thouet. Ce qui reste est difficilement navigable à cause de l'existence de quatre parties étroites à chute rapide. Il serait facile d'améliorer le Thouet, car sa pente est faible, son volume d'eau abondant et son débit régulier.

7. **Le Layon.** — La canalisation du Layon, concédée en 1774 à la Compagnie des mines de Saint-Georges-Chatelais, ouverte en 1792, détruite pendant les guerres de Vendée, n'a pas été relevée de ses ruines. Le Layon a une pente de 0^m,58 par kilomètre, un régime modéré, mais un mouillage très-faible en basses eaux.

Le Layon peut être à nouveau canalisé et constituer un tronçon de la grande artère de la rive gauche de la Loire.

8. **La Sèvre Nantaise.** — Navigable de Monnières à la Loire sur 21^k,5 elle a une pente faible et un débit qui varie de 0^m,5 à 400 mètres cubes. Son débit est donc très-irrégulier, et elle ne dessert ni ville, ni exploitation importante. Elle est parcourue par de petites barques qui donnent un trafic de 7500 tonnes au parcours entier. A 6 kilomètres en amont de la Loire, la Sèvre est barrée par l'écluse du Verton, dont la chute, de 1^m,60 en basse mer, disparaît à marée haute.

9. **La petite Maine.** — Affluent de la Sèvre, elle a sur quatre kilomètres en amont de son embouchure un mouillage minimum de 0^m,80 et une circulation annuelle de 5000 tonnes.

10. **L'Acheneau, le lac de Grand-Lieu et ses affluents.** — L'Acheneau est le canal naturel qui conduit en Loire les eaux du lac de Grandlieu, lequel est

alimenté par les rivières l'Ognon et le Tenu. Tout ce groupe forme un seul bief réglé par l'écluse de Messan et par les portes de Buzay qui s'opposent à l'introduction des eaux de la mer.

Le mouillage réglementaire est de 1^m,28; le réseau a une longueur de 65^k,8 et supporte une navigation assez active qui s'élève à 12,000 tonnes au parcours entier.

Dans notre étude sur les dessèchements, nous avons exposé le projet de dessèchement du lac de Grandlieu et nous avons signalé les avantages et les inconvénients qu'il présente. Nous ne reviendrons pas sur ce point.

11. Canal latéral à la Loire. — Le canal latéral à la Loire, établi sur la rive gauche du fleuve, entre Roanne et Briare, aboutit à ce dernier point en face du canal de Briare.

La section de Roanne à Digoin, concédée en 1827 et livrée en 1838, rachetée par l'État en 1853, a coûté 177,600 francs le kilomètre.

La section de Digoin à Briare, construite en vertu de la loi de 1822 et livrée en 1838, a coûté 164,000 francs le kilomètre.

De Roanne à Digoin, il y a une distance de 56.043 mètres, une chute de 56^m,80 rachetée par 14 écluses de 5^m,20 sur 33 mètres, et un mouillage de 1^m,60.

Entre Digoin et Briare, le canal a une longueur de 197,014 mètres, une chute de 157^m,50 rachetée par 46 écluses de 5^m,20 sur 54^m,60, et un mouillage de 1^m,60. Cette section traverse l'Allier au Guétin sur un pontcanal en maçonnerie de 347 mètres de long; elle rejoint le canal du Berry à Marseille-les-Aubigny, communique avec le canal du Nivernais, à Decise, par une descente en Loire, et est reliée au fleuve par d'autres descentes en face de Nevers, Givry et Saint-Thibault.

Au canal il faut ajouter deux rigoles canalisées de 6200 mètres de long dérivées l'une de l'Allier, l'autre de la Bèbre.

A Digoin, le canal latéral est relié au canal du Centre par un pont-aqueduc en maçonnerie de 217 mètres de long, qui franchit la Loire.

Ce qui cause une gêne à la navigation, ce sont les descentes en Loire; ainsi les bateaux qui arrivent à Briare par le canal avec un tirant d'eau de 1^m,45, ne trouvent dans le fleuve qu'un mouillage insuffisant et sont forcés d'attendre une crue.

De 1853 à 1868, le trafic s'est élevé de 44 à 71 millions de tonnes kilométriques, ce qui fait un transport de 265,000 tonnes au parcours entier.

L'entretien coûte 365,000 francs et les péages rendent 185,000 fr.

L'intérêt des dépenses faites est de 2,192,800 francs.

Chaque tonne kilométrique est ainsi grevée de 0^r,053; le fret est de 2 à 3 centimes, de sorte que le prix de revient total du transport est de 6 centimes.

Les principales améliorations doivent porter sur le mode de halage et sur les modes de chargement et de déchargement qui sont encore à l'état primitif, ainsi que cela arrive du reste en France sur un trop grand nombre de voies.

Il y a 9 millions de dépenses urgentes à faire sur le canal latéral.

12. Canal du Berry. — La ligne principale du canal du Berry part du canal latéral à la Loire à Marseille-les-Aubigny et aboutit en Loire, près du confluent du Cher.

Près du bief de partage à Fontblisse se détache un embranchement qui va jusqu'à Montluçon.

Projeté en 1484, recommandé par Sully et Colbert, repris en 1765, le canal du Berry ne fut sérieusement commencé que sous le premier Empire, et ouvert

par sections de 1829 à 1841. Il a coûté 85,100 francs le kilomètre ; mais il eut mieux valu dépenser davantage et établir cette voie navigable dans de meilleures conditions.

A l'origine, le canal consommait 125,000 mètres cubes d'eau par jour et n'était alimenté que par deux réservoirs contenant 7 millions et demi de mètres cubes ; de là, de longs chômages. Avec les étanchements on réduisit la consommation à 55,000 mètres cubes, et on créa un troisième réservoir contenant un million de mètres cubes.

Mais, pendant la période de sécheresse que nous traversons, les nappes souterraines alimentant les réservoirs se sont abaissées ; il a fallu organiser une navigation par convois et chômer la moitié de l'année. Il importe de conjurer cette fâcheuse situation.

Avec dix millions on dériverait de l'Allier, à Moulins, une rigole alimentaire qui serait en même temps canalisée ; avec cinq millions, on créerait une simple rigole alimentaire ; avec 700,000 francs et 40,000 francs de dépense annuelle on établirait des machines élévatoires puisant l'eau dans l'Allier et la refoulant au bief principal.

Le canal du Berry a une longueur de 522^k,5 se subdivisant comme il suit :

Montluçon à Fontblisse 69^k,74 ; Fontblisse à la Loire amont 49^k,12 ; de Fontblisse au Cher 142^k,21 ; Cher canalisé 59 kilomètres ; jonction du Cher à la Loire près Tours 2^k,45.

La chute vers la Loire amont est de 26^m,22, vers la Loire aval de 141^m,59, sur l'embranchement de Montluçon 78^m,08.

C'est une dénivellation totale de 245^m,69 rachetée par 114 écluses de dimensions très-variables suivant les sections.

Mouillage normal, rarement atteint, 1^m,50 ; les buses des écluses ne permettent qu'un tirant d'eau de 1^m,40 et un chargement utile de 54 tonnes.

Malgré toutes ses imperfections, le canal du Berry a encore donné lieu en 1868 à un trafic de 270,000 tonnes au parcours entier, soit 87 millions de tonnes kilométriques ; cela seul prouve qu'il répond à une nécessité.

Le prix du fret est de 0^f,015 ; le transport se fait par les moyens les plus primitifs, avec des bateaux grossiers coûtant 1200 à 1500 francs ; le marinier s'installe sur son bateau avec sa famille et avec un âne qui est chargé du halage.

L'intérêt du capital grève chaque tonne kilométrique de 0^f,017 et l'entretien de 0^f,005, de sorte que le prix de revient total est de 0^f,055.

Pour assurer l'alimentation, porter le mouillage à 2 mètres et la largeur des écluses à 5^m,20, il y a à faire une dépense urgente de 25 millions qui ne serait pas improductive.

13. Canal de la Sauldre. — Il traverse les landes de la Sologne ; commencé en 1848 par les ateliers nationaux, il a été livré en 1860 et 1869 et amène au terrain argilo-sableux de la Sologne la chaux destinée à le féconder.

C'est un canal à petite section, isolé à ses deux extrémités, d'une longueur de 45,274 mètres et d'une pente de 54^m,55 rachetée par 19 écluses de 2^m,70 sur 51^m,05. Mouillage 1^m,30.

Mouvement au parcours entier : 8860 tonnes. Le fret est très-peu élevé, mais les dépenses d'entretien grèvent chaque tonne kilométrique de 6 centimes.

S'il n'était pas isolé et qu'il fût relié au Cher et à la Loire, le canal de la Sauldre pourrait rendre de grands services.

14. Canal de Dives et Thouet. — Concédié en 1776, mais commencé seule-

ment en 1825, ce canal fut ouvert en 1835, sur 42^k,8, dont 14^k,8 en lit de rivière et le reste en lit artificiel.

La dépense a été de 47,000 francs le kilomètre. La pente totale de 24^m,50 est rachetée par 11 écluses de 5^m,20 sur 34^m,20. Mouillage normal rarement atteint 1^m,60.

Malgré l'absence de concurrence et la fertilité du pays, le canal de Dives et Thouet ne dessert qu'un trafic de 50,000 tonnes, au parcours entier.

Travaux neufs à exécuter sur la rive gauche de la Loire. — La rive gauche de la Loire est industrielle et les voies navigables sont susceptibles de lui rendre de grands services : le centre de l'industrie est au pied du massif montagneux vers Montluçon et le port d'exportation est Nantes. Ce sont ces deux points qu'il faut relier.

A la ligne de séparation des terrains primitifs et des terrains sédimentaires, on trouve une brusque diminution de pente, qui se traduit par une accumulation d'eau le long de cette ligne, sensiblement dirigée de l'est à l'ouest, de Montluçon vers Poitiers.

Cette ligne est la direction à suivre pour l'exécution d'un canal principal qui, partant de Saint-Amand sur le canal du Berry, passerait près Châteauroux, entrerait dans la vallée de la Creuse jusqu'au confluent de la Gartempe, franchirait la vallée de la Vienne à 1 kilomètre au sud de Châtellerault, passerait dans la vallée de la Dives, la suivrait quelque temps, et gagnerait ensuite la vallée du Layon par un faite très-déprimé.

Cette grande artère de 350 kilomètres de long coûterait 52 millions de francs.

Le canal latéral à la Loire s'arrête à Roanne, et la navigation ne peut guère remonter au delà, barrée qu'elle est par le soulèvement porphyrique dans lequel le fleuve s'est creusé un chenal qui a vidé l'ancien lac du Forez. La création d'un canal à point de partage entre Roanne et Saint-Rambert coûterait 25 millions et relierait le réseau de la Loire au grand centre industriel de Saint-Étienne.

Enfin la jonction de Châtellerault à Angoulême, c'est-à-dire du bassin de la Loire avec le bassin de la Charente, pourrait se faire à l'aide d'un canal, présentant pour la traversée du faite et pour l'alimentation de sérieuses difficultés. Ce canal de 200 kilomètres coûterait 50 millions.

VIII. Voies navigables de l'Est : Canal de l'Est

La dernière guerre a enlevé à la France la plus grande partie des canaux qui reliaient l'Alsace et la Lorraine avec le nord de la France ; pour permettre à nos grandes industries d'Alsace et de Moselle de se relever sur notre nouveau territoire à l'ouest des Vosges, il était indispensable de créer une grande voie navigable reliant entre elles la Meuse, la Moselle et la Saône.

Cette ligne, en cours d'exécution, a son origine aux frontières de la Belgique, remonte la vallée de la Meuse en passant sous les murs de Sedan, Verdun, Commercy, vient à Troussey se souder au canal de la Marne au Rhin qu'elle em-

prunte jusqu'à Toul, où elle rencontre la Moselle qu'elle remonte jusqu'à Pont-Saint-Vincent. De là, elle s'engage dans le vallon de l'Avière par lequel elle arrive au faite de Girancourt, à l'altitude 561 mètres; traversant le faite en tranchée, elle descend le versant méridional des Vosges par les vallons de Meloménil et du Coney, elle rencontre la Saône à Corre et la descend jusqu'à Port-sur-Saône, où commence le projet de canalisation de la Saône.

A cette grande ligne se rattachent deux embranchements : l'un se détache entre Messeins et Richardménil, traverse, au col du Mauvais-Lieu, le faite très-déprimé des vallées de la Moselle et de la Meurthe et vient se souder au grand canal de la Marne au Rhin, à 2 kilomètres de Nancy; l'autre part de Thaon et s'arrête à Épinal.

Voici les longueurs de ces divers tronçons :

Basse Meuse canalisée en aval de Sedan	115 ^k ,5
Haute Meuse et canal latéral de Sedan à Troussey	162 ^k ,2
Partie empruntée au canal de la Marne au Rhin, à améliorer	20 ^k ,0
Partie empruntée à la Moselle entre Toul et Pont-Saint-Vincent	22 ^k ,5
Canal à point de partage de la Moselle à la Saône	161 ^k ,2
Embranchement de Nancy	11 ^k ,8
Embranchement d'Épinal	7 ^k ,4
Longueur totale	498 ^k ,4

Les dénivellations sont les suivantes : de la Belgique à Sedan 53^m,55, 22 écluses; de Sedan à Troussey 95^m,25, 35 écluses; de Toul à Pont-Saint-Vincent 10^m,50, 4 écluses; de Pont-Saint-Vincent au faite de Girancourt 145^m,50, 48 écluses; du faite de Girancourt à Port-sur-Saône, 151^m,50, 50 écluses; embranchement de Nancy 54 mètres, 17 écluses; embranchement d'Épinal 0 mètre.

Les écluses du bassin de la Meuse ont 5^m,70 sur 46 mètres, du canal de la Marne au Rhin 5^m,20 sur 38^m,10; de la Moselle 6 mètres sur 46 mètres; du reste du canal 5^m,20 sur 40 mètres.

Le mouillage projeté est de 2^m,20 en rivière et de 2 mètres en canal, ce qui assure un tirant d'eau de 1^m,80.

Entré le plan d'eau et le tablier des ponts est ménagée une hauteur libre de 3^m,70.

La largeur du canal au plafond est fixée à 10 mètres.

La dépense est évaluée à 65 millions de francs, soit 157,000 francs le kilomètre.

L'alimentation est pleinement assurée au moyen de prises d'eau, de grands réservoirs et d'emprunts faits aux lacs des Vosges.

Afin d'arriver à une exécution rapide, les cinq départements intéressés se sont réunis en un syndicat qui avance à l'État les 65 millions nécessaires. L'État s'engage à rembourser cette somme par annuités avec l'intérêt et l'amortissement calculé à 4 pour 100. Comme l'intérêt et l'amortissement réels s'élèveront à 6 pour 100, on a accordé au syndicat un droit de péage de 0^f,005 par tonne kilométrique, qui prendra fin dès qu'il aura produit la somme nécessaire au remboursement de la dette.

RÉSUMÉ

En résumé, la longueur totale des voies navigables de la France est de 11.400 kilomètres, dont environ 5000 kilomètres de canaux, 3000 de rivières non canalisées, et la longueur des voies à ouvrir pour compléter notre réseau est évaluée par M. Krantz à

2925 kilomètres.

Dans les 11,400 kilomètres précités n'entrent pas :

- 1° Le réseau du Nord-Est, Rhin, Ill, Sarre, Moselle, dont il ne nous reste aujourd'hui que des fragments ;
- 2° Les parties maritimes des fleuves, telles que la basse Seine, la basse Loire et la Gironde ;
- 3° Les lacs tels que le Bourget et le Léman.

Le réseau des voies navigables intérieures dessert un trafic de

2,124,000,000 tonnes kilométriques,

et l'intérêt du capital de premier établissement grève chaque unité d'une dépense de 0^r,025.

Si l'on excepte le bassin du Nord et le bassin de la Seine, les autres bassins ont un mouvement peu considérable et en somme très-dispendieux pour le trésor.

Droits de navigation. — Les droits de navigation, établis par le décret du 27 février 1867, sont minimes et réglés comme il suit :

Marchandises de 1 ^{re} classe, tonne kilométrique.	0 ^r ,002	sur les rivières et	0 ^r ,005	sur les canaux.
— 2 ^e —	0 ^r ,001	—	0 ^r ,002	—
Bois en trains, stère kilométrique.	0 ^r ,0002	—	0 ^r ,0002	—

Développement probable des voies navigables. — Le développement inouï des chemins de fer depuis 50 ans, la révolution profonde introduite dans les mœurs et dans l'existence par ce puissant instrument de transport rapide, ont relégué pendant longtemps au second plan nos vieilles voies navigables.

Cependant la faveur leur revient ; on reconnaît qu'elles sont plus économiques que les voies ferrées, que les frais de l'exploitation sont beaucoup moindres ; ceux-ci tendent sans cesse à s'accroître sur les chemins de fer, tandis qu'ils sont appelés à décroître sur les canaux lorsqu'on aura recours aux moyens de traction mécaniques et qu'on assurera partout un bon mouillage.

D'après l'exemple du canal de la Marne au Rhin, le prix de construction d'un grand chemin de fer à deux voies s'élève à une fois et demie le prix d'un canal de 10 mètres de largeur au plafond avec écluses de 5^m,20.

Un seul bateau porte la charge de vingt wagons; le poids mort est donc beaucoup moindre, et la dépense de matériel est dix fois moindre.

Pour toutes ces raisons, le canal peut transporter à des prix notablement inférieurs à ceux qu'exige la voie ferrée; cette différence dans les prix compense pour beaucoup de marchandises les avantages de célérité et de commodité qu'offre le chemin de fer.

En s'attachant à perfectionner nos voies navigables, on atténuera dans une mesure considérable leurs principaux inconvénients et on les mettra en mesure de rendre tous les services qu'on ne tardera pas à exiger d'eux.

RÉSUMÉ DES LOIS ET ORDONNANCES RELATIVES A LA NAVIGATION

I.

Aucun bateau ne pourra naviguer sur les fleuves, rivières ou cours d'eau, qu'après avoir été préalablement jaugé à l'un des bureaux qui seront désignés pour chaque cours de navigation.

Toute personne mettant à flot un nouveau bateau, sera tenue de le présenter, avant son premier voyage, ou après son premier déchargement, à l'un des bureaux de jaugeage.

Toutefois, les bateaux qui ne font qu'un voyage, pourront être jaugés à l'un des bureaux de navigation ou au lieu de déchargement, mais il ne sera pas permis de les dépecer avant que les droits aient été acquittés.

Le procès-verbal de jaugeage déterminera le tirant d'eau à vide, et la dernière ligne de flottaison à charge complète sera fixée de manière que le bateau, dans son plus fort chargement, présente toujours un décimètre en dehors de l'eau. Toute charge qui produirait un enfoncement supérieur à la ligne de flottaison ainsi fixée, est interdite.

II.

Le jaugeage sera fait par les employés des contributions indirectes, en présence du propriétaire ou du conducteur du bateau. Les employés dresseront de cette opération un procès-verbal, dont copie sera remise au conducteur ou propriétaire et qui énoncera :

- 1° Le nom ou la devise du bateau;
- 2° Les noms et domiciles du propriétaire et du conducteur;
- 3° Les dimensions extérieures du bateau mesurées en centimètres;
- 4° Le tirant d'eau à charge complète;
- 5° Le tirant d'eau à vide, avec les agrès;
- 6° Enfin le tonnage du bateau à charge complète et le tonnage par centimètre d'enfoncement.

La progression croissante ou décroissante du tonnage sera réglée par tranche de vingt en vingt centimètres de l'échelle mise en place.

Les millimètres ne seront pas comptés.

III.

Toutes les fois que le conducteur d'un bateau en formera la demande, il sera procédé à un nouveau jaugeage; les résultats de cette opération seront également constatés par

un procès-verbal, dont il lui sera délivré une ampliation en remplacement de la précédente.

Les employés pourront aussi procéder d'office à la contre-vérification des jaugeages, et s'il n'y a point de différence, ils se borneront à viser l'ancien procès-verbal.

Ces vérifications n'auront lieu qu'en cas de stationnement et qu'après le déchargement des bateaux.

IV.

De chaque côté du bateau sera incrustée une échelle de cuivre, graduée en centimètres. Le zéro de l'échelle répondra au tirant d'eau à vide, et une marque apposée dans la partie supérieure indiquera la ligne de flottaison, à charge complète à la limite déterminée.

Les propriétaires ou conducteurs de bateaux pourront fournir et placer les échelles en présence des employés, et en se conformant aux indications de l'administration des contributions indirectes. A leur défaut, cette administration y pourvoira; dans ce cas, le prix des échelles lui sera remboursé, au moment du jaugeage, à raison de 50 centimes par décimètre, y compris la mise en place.

V.

Il est défendu aux bateliers d'enlever ou de déplacer des échelles.

VI.

Toutes les fois que, par un accident quelconque, les échelles auront été perdues ou qu'elles se trouveront détériorées, le batelier sera tenu de les faire immédiatement remplacer.

VII.

La perception de droit sur tout bateau chargé et non jaugé, qui naviguera pour la première fois, sera garantie par un acquit-à-caution qui énoncera, indépendamment du tonnage par évaluation, la distance entre le plat-bord et la ligne de flottaison du chargement.

Le batelier sera tenu, aussitôt après le déchargement du bateau, de le faire jauger et acquitter le droit.

Il ne sera pas apposé d'échelles sur tout bateau qui sera dépecé après le premier voyage, et dans ce cas, le jaugeage sera fait au lieu même du déchargement.

VIII.

Les bateaux chargés de marchandises diverses supportent les droits proportionnellement au poids et suivant la nature de chaque partie du chargement.

Les marchandises chargées sur des trains ou radeaux sont imposées par tonnes de 1000 kilogrammes comme si elles étaient transportées par bateaux; les trains et radeaux qui les portent ne seront passibles que du droit qui leur est relatif.

IX.

Les bateliers auront la faculté de payer au départ ou à l'arrivée la totalité des droits pour le voyage entier, lors même que leurs bateaux devraient circuler sur plusieurs cours d'eau pour se rendre à destination.

Toutes les fois qu'un batelier aura payé au départ, jusqu'au lieu de destination, pour la totalité du chargement possible de son bateau en marchandises de première classe, il ne sera tenu, aux bureaux intermédiaires de navigation, que d'y représenter, sur réquisition, son laissez-passer.

X.

Lorsque le conducteur voudra payer le droit à l'arrivée, il devra se munir, au premier bureau de navigation, d'un acquit-à-caution, qui sera représenté aux employés du lieu de destination, et déchargé par eux après justification de l'acquiescement des droits.

A défaut de cette justification, le conducteur et sa caution seront tenus de payer les droits pour tout le trajet parcouru, comme si le bateau avait été entièrement chargé de marchandises de première classe.

XI.

Tout conducteur de bateaux, de trains ou de bascules à poisson, devra, à défaut de bureau de navigation, se munir, à la recette buraliste des contributions indirectes du lieu de départ ou de chargement, d'un laissez-passer qui indiquera, d'après sa déclaration, le poids et la nature du chargement, ainsi que le point de départ.

Ce laissez-passer ne pourra être délivré, pour les bateaux chargés, qu'autant que le déclarant s'engagera par écrit et sous caution, d'acquiescer les droits au bureau de navigation le plus voisin du lieu de destination ou à celui devant lequel il y aurait à passer pour s'y rendre.

Tout chargement supplémentaire fait en cours de transport sera déclaré de la même manière.

XII.

Lorsqu'il n'y aura pas de bureau de navigation au lieu de destination, le droit sera acquitté au dernier bureau placé sur la route, lequel sera désigné en l'acquit-à-caution.

Les bateliers fourniront aux employés les moyens de se rendre à bord toutes les fois que, pour reconnaître les marchandises transportées ou pour vérifier l'échelle, ils seront obligés de s'en approcher.

XIII.

Les laissez-passer, acquits-à-caution, connaissements et lettres de voiture seront représentés, à toutes réquisitions, aux employés des contributions indirectes, des douanes, des octrois, de la navigation, ainsi qu'aux éclusiers, maîtres de ponts et de pertuis.

Ils devront toujours être en rapport avec le chargement.

Cette exhibition devra être faite au moment même de la réquisition des employés.

XIV.

Tout conducteur qui sera muni d'un acquit-à-caution aura la faculté, en passant de-

vant un bureau de navigation, de changer la destination primitivement déclarée, à la charge par lui d'acquitter immédiatement le droit pour les distances déjà parcourues.

XV.

Lorsque la navigation n'a lieu qu'à l'aide du flot naturel ou artificiel, qui ne permet pas la station devant le bureau de navigation, les acquits-à-caution devront être délivrés au lieu même du départ des trains et bateaux, pour tout le trajet à parcourir et lors même qu'il s'étendrait à deux rivières différentes.

XVI.

Les dispositions qui précèdent sont toutes applicables aux bateaux à vapeur, mais, lors du jaugeage, la machine, le combustible pour un voyage et les agrès sont compris dans le tirant d'eau à vide.

XVII.

Sont exempts de droits :

- 1° Les bateaux entièrement vides ;
- 2° Les bâtiments et bateaux de la marine affectés au service militaire de ce département ou du département de la guerre, sans intervention de fournisseurs ou d'entrepreneurs ;
- 3° Les bateaux employés exclusivement au service ou aux travaux de la navigation par les employés des ponts et chaussées ;
- 4° Les bateaux pêcheurs lorsqu'ils porteront uniquement des objets relatifs à la pêche ;
- 5° Les bascules à poisson, vides ou ne renfermant que du poisson ;
- 6° Les bacs, batelets ou canots servant à transporter d'une rive à l'autre ;
- 7° Les bateaux appartenant aux propriétaires ou fermiers et chargés d'engrais, de denrées, de récoltes et de grains en gerbe pour le compte desdits propriétaires ou fermiers, lorsqu'ils auront obtenu l'autorisation de se servir de bateaux particuliers dans l'étendue de leur exploitation.

XVIII.

Toute contravention aux précédentes dispositions sera punie d'une amende de cinquante à deux cents francs, sans préjudice des peines établies par les lois en cas d'insultes, violences, ou voies de fait.

Les propriétaires de bâtiments, bateaux et trains seront responsables des amendes résultant des contraventions commises par les bateliers et les conducteurs.

XIX.

Les contestations sur le fond du droit de navigation seront jugées, et les contraventions seront constatées et poursuivies dans les formes propres à l'administration des contributions indirectes.

Le produit des amendes sera réparti comme en matière de voitures publiques.

FIN.



2° Profil des murs de défense.	278
3° Profil des murs de fuite.	278
4° Profil des murs en retour.	280
5° Profil du radier.	280
<i>Remarques diverses sur la construction des écluses.</i>	
<i>Écluses économiques.</i>	285

TYPES D'ÉCLUSES

1° Écluses du canal de la Marne au Rhin (1 ^{re} partie).	284
2° Écluses de la Marne au Rhin (versant du Rhin).	286
3° Écluse du canal Saint-Martin, à Paris.	287
4° Écluses de la haute Seine.	288
5° Écluses du canal du Berry, petite section.	288

DES PORTES D'ÉCLUSE

Généralités.	289
1° Portes en bois.	291
Porte d'écluse du canal du Berry, vantail unique.	292
Calcul de la résistance des ventelles.	295
Remplissage des sas d'écluse.	295
Siphons de Gauthey.	294
Vanne Vallée.	294
Portes d'écluse du canal d'Orléans.	294
Portes du canal de Saint-Quentin.	296
Portes du barrage de Melun (haute Seine).	297
Résistance d'un vantail au mouvement de rotation.	298
Résistance de la crapaudine et de la bourdonnière.	299
Portes du canal Saint-Martin.	300
Portes du canal de la Marne au Rhin.	301
Ventelles tournantes.	302
2° Portes en fonte.	302
3° Portes en tôle.	304
Portes de l'écluse de la Monnaie.	304
Portes du canal Saint-Maurice.	304
Comparaison entre les portes en bois et les portes en tôle.	305
Portes de garde sur les canaux.	307
Portes à axe horizontal de rotation.	307
Portes de garde du canal de la Marne au Rhin.	308
Calcul du temps qu'un sas met à se vider et à se remplir.	309

CHAPITRE III

Profils et ouvrages d'art des canaux.

PROFILS.	312
Profils en travers du canal de la Marne au Rhin.	312
Profil du canal de la Sauldre, petite section.	315
Observations sur les terrassements.	315
Observations sur les canaux des États-Unis.	315
Canaux souterrains des houillères de Worsley.	315
Appareil élévatoire pour les bateaux.	316

PROCÉDÉS D'ÉTANCHEMENT DES CANAUX.

Étanchements à l'eau trouble en Bavière.	317
Étanchements du canal du Rhône au Rhin.	317
Étanchements du canal de la Marne au Rhin.	319
— 1 ^{er} au béton.	319
— 2 ^e en terre.	321
— 3 ^e à l'eau trouble.	322
Étanchements du canal de l'Aisne à la Marne.	322

TRAVAUX D'ART ACCESSOIRES D'UN CANAL.

1° Abords des écluses et ponts par-dessus.	325
2° Ouvrages de prise d'eau et déversoirs.	325
Prises d'eau.	325
Vannages en fonte.	327
Déversoirs, ouvrages de décharge, siphons.	328
3° Aqueducs et ponts canaux.	350
Aqueducs.	350
Ponts canaux en maçonnerie, le Guétin, Digoin.	352
Pont aqueduc de Montreuillon.	353
Pont canal de la Walck.	354
Ponts canaux en fonte.	355
Pont canal de l'Albe, tôle et fers spéciaux.	356
Systèmes exceptionnels au passage des canaux et des rivières.	340

CHAPITRE IV

Digues et murs de réservoirs.

Généralités.	345
1° THÉORIE DES MURS DE RÉSERVOIRS.	
Répartition des pressions dans un massif à sections horizontales rectangulaires.	344
Théorèmes sur la résistance des murs.	345
Densité de la maçonnerie.	347
Charge limite à imposer au sol et aux maçonneries.	347
Hauteur maxima d'un mur à parements verticaux soumis à l'action seule de la pesanteur.	349
Profil d'égale résistance d'un mur soumis à l'action seule de la pesanteur.	349
Profil d'égale résistance d'un mur soumis à la poussée de l'eau sur une de ses faces.	351
Hauteur maxima d'un mur à parements verticaux soumis à la poussée de l'eau.	353
Détermination par une nouvelle méthode graphique du profil ordinaire d'un mur de réservoir.	353
Détermination de ce profil au-dessus du point pour lequel le parement d'amont cesse d'être vertical.	356
Détermination d'une tranche horizontale quelconque de ce profil.	359
Du profil définitif d'exécution.	361
Résistance au glissement.	361
Murs sur plan circulaire.	362
Comparaison des nouveaux profils avec les anciens.	365

2° DIGUES EN TERRE.

Digues des étangs du canal du Centre.	365
Accidents arrivés à ces digues.	365
Des perrés d'étangs.	364
Accessoires des étangs.	365
Étangs Berthaud et de Torcy.	365
Digue en terre du réservoir de Montaubry.	366
Digue en terre du réservoir de Mittersheim.	370
Déversoir siphon de ce réservoir.	370
Digue en terre du réservoir de Panthier.	376

3° BARRAGES EN MAÇONNERIE.

Barrage des Settons (Yonne).	377
Barrage du goufre d'Enfer, Furens.	379
Barrage du Ban, près Saint-Chamond.	382

État des voies navigables de la France.

Historique. 384

I. BASSIN DE LA SEINE.

1^e Groupe de l'Oise. 387
 1. Canal de Saint-Quentin. 387
 2. Sambre et canal de la Sambre à l'Oise 588
 3. Aisne et canal des Ardennes. 589
 4. Canal latéral à l'Oise et Oise canalisée. 390

2^e Groupe de la Marne. 390
 1. Marne et ses dérivations. 390
 2. Rigole du grand Morin. 391
 3. Canal Cornillon. 391
 4. Canal latéral à la Marne. 392
 5. Canal de l'Aisne à la Marne. 392
 6. Canal de la Marne au Rhin. 392
 7. Canal de l'Oureq. 392

3^e Groupe de l'Yonne. 395
 1. Yonne canalisée. 395
 2. Canal de Bourgogne. 394
 3. Canal du Nivernais. 395

4^e Groupe de la Seine. 395
 1. Rivière d'Aube. 395
 2. Canal de la haute Seine. 396
 3. Haute Seine. 396
 4. Canaux de Briare, d'Orléans et du Loing. 396
 5. Canaux Saint-Denis et Saint-Martin. 397
 6. Basse Seine, de Paris à Rouen. 398
 7. Eure canalisée. 399

Nouvelles voies navigables à établir dans le bassin de la Seine. 599

II. BASSIN DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD.

4^e Rivières du littoral normand. 401
 Rille, Touques, Orne. 401
 Vire, Aure, Taute, Douve, canaux. 402
 Selune, Sée, Sienne. 405

2^e Groupe de la Somme. 405
 1. Somme et canal de la Somme. 405
 2. Rivière d'Avre. 404

3^e Canaux du Nord et du Pas-de-Calais. 404
 1. Ligne d'Etrun à Gravelines. 404
 2. L'Escaut. 405
 3. La Scarpe. 406
 4. Canaux de la Deule, de Roubaix, de Seclin. 406
 5. La Lys et ses affluents. 407
 6. Canaux du littoral. 408

III. BASSIN DU RHÔNE.

1^e Groupe de la Saône. 410
 1. La Saône. 410
 2. Canal du Rhône au Rhin. 411
 3. Le Doubs. 412
 4. S. Seille; canal de Pont de Vaux. 412

2^e Groupe du Rhône. 412
 1. L'Ain. 412
 2. S. Isère; Ardèche. 415
 3. Canal de Savières, canal de Givors. 415
 4. 5. Canal de Beaucaire, canal d'Arles à Bouc. 415
 6. 7. Canal de Beaucaire, canal d'Arles à Bouc. 415
 8. Le Rhône. 415

Amélioration de la navigation du Rhône. 414

1^e Groupe de la Dordogne. 417
 1. La Dordogne. 417
 2. 3. La Vézère, l'Isles. 418
 4. La Dronne. 419

2^e Groupe de la Garonne. 419
 1. La Garonne. 419
 2. Le Dropt. 420
 3. Le Lot. 421
 4. Le Tarn. 421
 5. 6. Le Salat, l'Ariège. 422
 7. 8. Le Baise, les Esteyss. 425

3^e Groupe des canaux.

1. Canal latéral à la Garonne. 425
 2. Canal du Midi ou des deux mers. 424
 3. Canaux des étangs. 425

V. BASSIN DU GOLFE DE GASCOGNE.

1^e Bassin de l'Adour. 425
 1. L'Adour. — 2. La Midouze. 426
 3. Affluents de la rive gauche de l'Adour 426
 2^e Bassin des Landes. 427

VI. BASSINS DE LA CHARENTE ET DE LA SÈVRE NIORTAISE.

1. Le Lay. — 2. le canal de Luçon. — 3. La Sèvre et ses affluents. 428
 4. La Vendée. — 5. le canal de Marans à la Rochelle. 429
 6. La Charente et ses affluents. 429
 7. La Sèvre. 430

VII. BASSIN DE LA LOIRE.

1^e La Loire. 430
 Amélioration de la Loire. 435

2^e Voies navigables de la rive droite de la Loire. 434
 1. Canal du Centre. 434
 2. Groupe Angevin : Mayenne, Sarthe, Loir, Authion, Oudon. 435

3^e Groupe breton : canal de Nantes à Brest, canal du Blavet, l'Aff, l'Arz, l'Erdre, la Vilaine, le Dou, le Cher, le canal d'Ille et Rance. 457
 Travaux neufs à exécuter sur la rive droite de la Loire. 459

3^e Voies navigables de la rive gauche de la Loire. 440

1. La Dore. — 2. l'Allier. 440
 3. Le Loiret. — 4. La Creuse. — 5. La Vienne. — 6. Le Thouet. 441
 7. Le Layon. — 8. la Sèvre Nantaise. — 9. la petite Maine. 441
 10. L'Acheneau, le lac de Grandlieu et ses affluents. 441
 11. Canal latéral à la Loire. 442
 12. Canal du Berry. 442
 13. Canal de la Saultre. — 14. Canal de Dives et Thouet. 445

Travaux neufs à exécuter sur la rive gauche de la Loire. 444

VIII. VOIES NAVIGABLES DE L'EST : CANAL DE L'EST.

Résumé des voies navigables de la France. 446
 Droits de navigation. 446
 Développement probable des voies navigables. 446
 Lois et ordonnances relatives à la navigation. 447

S-96

S. 61

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000299191