

This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

#### Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + Refrain from automated querying Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

#### **About Google Book Search**

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



## A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

#### Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + Ne pas procéder à des requêtes automatisées N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + Rester dans la légalité Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

#### À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse http://books.google.com





Walling.

r



 $\sqrt{D}$ 



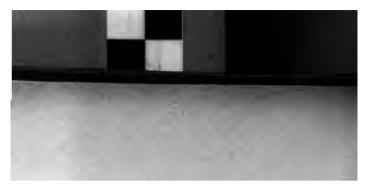
٠...

٠,



# ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS

# NAVIGATION INTÉRIEURE RIVIÈRES ET CANAUX



THE REPORT OF THE PARTY OF THE

Au numeroement de chaque volume, une table donne la division des maneres qui renferme en Parties. Chapitres et Puragraphes. Un summure femme est en outre placé en tête de chaque chapitre.

A COPRES, IMPRIMERIE A. BURDIN ET CO. 4. RUE GARNIER.



# ENCYCLOPÉDIE

DES

# TRAVAUX PUBLICS

Fondée par Mc-C. LECHALAS, inspr génal des Ponts et Chaussées

# NAVIGATION INTÉRIEURE

# RIVIÈRES ET CANAUX

Guillaume Antin Poul GUILLEMAIN

INSPECTEUR GÉNÉRAL
PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES

# TOME PREMIER

PRÉLIMINAIRES

AMÉLIORATION DES RIVIÈRES A COURANT LIBRE

DES RIVES DES COURS D'EAU. — DES INONDATIONS

DES BARRAGES

ANNEXES: A. RIVIÈRES A FOND DE SABLE. — B. RIVIÈRES DE LA LOMBARDIE

# **PARIS**

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE BAUDRY ET C<sup>1</sup>, LIBRAIRES-ÉDITEURS

RUE DES SAINTS-PÈRES, 15 MÊME MAISON A LIÈGE

1885
TOUS DROITS RÉSERVÉS

Land to the first the said of the said of





# TABLE DES MATIÈRES

Pages.	Pages.
PREMIERE PARTIE	Figures dans le texte :
CHAPITRE I. De l'état naturel des cours d'eau.	Cuillère labourant les hauts fonds
5 1. Origine et régime des eaux. 3	Petite planche :
2. Constitution du lit des ri- vières	Vannage dragueur du canal de la Somme 88
Figures dans le texte:	CHAPITRE V. Amélioration par res-
Cordons littoraux dans la Bal-	serrement du lit.
Lugunes de Venise	§ 1. Effet à espérer des resser- rements
CHAPITRE II. Des bateaux et de	digues 94
leurs divers modes de loco- motion.	§ 3. Emploi des digues longitu- dinales
1. Des bateaux employés pour	§ 4. Emploi des digues transver-
la navigation intérieure 31	sales ou épis
3. Navigation à la voile et à la	basses, d'épis de faible hau-
dérive 40	teur et de seuils de fond 104
5 4. Navigation à la vapeur 42 5 5. Bateaux à propulseur 43	Figures dans le texte :
§ 6. Du tounge 45	Digue de la Moselle 95 Autre digue de la Moselle 96
Charite III. Des opérations à	Digues de la Garonne, trois fi-
faire pour étudier l'améliora- tion des cours d'eau.	gures 96
& 1. Nivellements; levés de	Petites planches :
plans; sondages 55	Digues de la Durance 102 Les épis noyès du passage du
§ 2. Jaugeages	Revestidou (Rhône) 110
d'eau 65	CHAPITRE VI. Barrement des bras
3 4. Annonce des crues 68	secondaires et redressement
Figure dans le texte :	des coudes.
Le moulinet de Woltmann 61	§ 1. Barrement des bras secon- daires
SECONDE PARTIE	§ 2. Redressement des coudes 118
AMÉLIORATION DES RIVIÈRES A COURANT LIBRE	CHAPITRE VII. Amélioration des fleuves à leur embouchure.
CHAPITER IV. Amélioration des ri-	§ 1. Distinction à faire, suivant
vières à courant libre par voie de dragage.	que la mer dans laquelle se
unique 83	jette le fleuve est sans marées ou à fortes marées 121
The state of the s	The state of the s

D.	·	_	
§ 2. Mers sans marées	122	, § 3. Des emmagasinements d'eau	rtos
§ 3. Mers à marées	134	vers les sources	220
Figure dans le texte:		8 5. Endiguements, Le Pô	233 242
Baie des Vays	139	9 D. Mesures (III) restent &	
Petites planches:	1	prendre sur la Loire § 7. Des endiguements submer-	252
Le delta du Nil Le delta du Rhône	124 126	sibles § 8. Résumé et conclusion	269 272
Le delta du Danube	128	Figures dans le texte :	
Le Mississipi	130	Digue du Pô	237
Profil longitudinal de la Seine		Levée de la Loire	244
maritime	144	Petites planches:	
TROISIÈME PARTIE		Le bassin du Pô, de Crémone à Ferrare	236
DES RIVES DES COURS D'EAU	r.	Digues de la Loire, dites insub-	
DES INONDATIONS.		mersibles Déversoir du Bec-d'Allier	243 248
CHAPITRE VIII. Défense des riv	res.		
Quais.		CHAPITRE XI, <b>Prévision et anno</b> des inondations.	BCO
§ 1. Défense des rives § 2. Défense des rives au point	160	1. Prévision des inondations	275
de vue technique	161	g 2. Annonce des inondations	288
§ 3. Défense des rives au point de vue administratif	170	QUATRIÈME PARTIE	
§ 4. Quais	175	DES BARRAGES.	
Figures dans le texte :		CHAPITRE XII. Considérations	gé-
Revêtement en fascinages (Hol-	166	nérales. Barrages fixes.	-
Type de perré de la Marne	168	§ 1. Considérations générales § 2. Barrages fixes	295 300
Fondation sur pieux et bordages. Revêtement en saucissons et	169	Figures dans le texte:	
pierres plates	170	Barrage à paroi verticale	302
Têtes de pieux empâtées dans le béton	184	Affouillements, deux figures Barrage en pierres seches et	303
Plate-forme supportant les rem- blais	186	Barrage à paroi courbe	303 304
Barbacanes	187	Barrage en doucine	304
Construction de quais dans des terrains vaseux	192	Tourbillon	30 <b>6</b>
Petites planches:	•	Patile planche: Barrage de l'Oise	305
Quais de Paris: profils en tra-		_	
vers	180	CHAPITRE XIII. Barrages à par mobiles soutenues par	des
terrains vaseux	193	appuis fixes. Portes m	ari-
CHAPITRE IX. Les chemins	de	nières et ponts éclusés.	
halage. Le halage. Le dél		§ 1. Barrages à parties mobiles soutenues par des appuis fixes.	309
tation du lit.		§ 2. Portes marinières et ponts	317
§ 1. Législation qui régit la ser- vitude de halage	197	figures dans le texte :	٠
§ 2. Conditions techniques du		Barrage à vannes	310
halage§ 3. Delimitation du lit des cours		Barrage à poutrelles Poutrelles à chevilles	31 <b>1</b> 31 <b>3</b>
d'eau	204	Poutrelles à biseau	313
CHAPITRE X. Des inondation	ns.	Poteau d'appui demi-circulaire.	314
§ 1. Des inondations en général.		Petite planche:	210
§ 2. Des curages	219	Vanne à deux tiges de manœuvre.	312

	uges.	The second secon	iges.
dama XIV. Barrages Poir	ée.	§ 3. Chevalet et arc-boutant	408
11. Description générale	320	§ 4. Barre a talons	416
I L Emappements	322	S. S. Dn radior	419
I Du ndean de retenue des		§ 5. Du radier § 6. Avantages et inconvénients	410
(MIX	328		
Li, Des fermettes	349	des barrages du système Cha-	423
	373	§ 7. Instruction sur la manœuvre	420
5. Du radier	010	§ 1. instruction sur la manœuvre	
Amplages et inconvénients	377	des hausses mobiles du sys-	100
des barrages Poirée	211	teme Chanoine	428
Figures dans le texte:		§ 8. Barrage à hausses tour-	
William Tolking to the Control of th	321	nantes et arc-boutées de	
La harrage Poirée	323	grande hauteur, se manœu-	
Griffe & machoires	325	vrant sans barre à talons	437
Learningue Chanoine			
Emprement de la Meuse belge.	327	Figures dans le texte :	
Proslom exercées par les ai-	910	Damaga de Combeton	por
suiles	349	Barrage de Courbeton	395
Promion exercées par les stores	200	Chevalet mobile	397
el les panneaux	350	Calcul des forces qui agissent sur	100
Eferis sur la fermette :		la hausse et ses appuis	408
l' falcul dans le cas des ai-		Barrage de la Mulatière : Aba-	
miles	351	tage ou relèvement des hausses.	441
Phus le cas des stores ou		Detites of makes	
des panneaux	354	Petites planches:	
Capandine d'amont d'une fer-		Barrage de Coly, sur l'Isle	391
mette	367		
Gapandine d'avaf.	367	Passe navigable de la Marne	394
hores d'attache	368	Passe navigable de la haute	200
Loment de la dernière fer-		Heurtoir et glissière Chanoine.	396
mette	370	Heurtoir et gussière Chanoine.	398
	210	Déversoir des barrages de la	
Petites planches:		haute Seine	400
Emprement Chanoine	324	Barrage de la Madeleine; barre	
Stores d'étanchement	335	å talons	417
There are a second as a second			
Stores remplacant les aiguilles		Barrage de Couzon (Saone)	420
Stores remplaçant les aiguilles (barrage de Villez)	337	Barrage de Couzon (Saone) Barrage de la Mulatière :	
Durage de Villez)		Barrage de la Mulatière :	438
Chluis porte-rideau	337 339	Barrage de Couzon (Saone)	
Chisis porte-rideau	339	Barrage de Louzon (Saone) Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau	438
Chisis porte-rideau		Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes	438 442
Charist d'enlèvement des châssis et rideaux	339	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuapitrae XVII. Barrages à ap	438 442
Charist d'enlèvement des châssis et rideaux	339 344 344	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuapirae XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la el	438 442
Chizis porte-rideau Clariot d'enlèvement des châssis et rideaux Uneuvre des aiguilles à Joinville (pertuis) Femette de Martot	339 344 344 360	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuapitrae XVII. Barrages à ap	438 442
Charist d'enlèvement des châssis et rideaux	339 344 344	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuapirae XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la el	438 442
Cariot d'enlèvement des châssis et rideaux.  Maneuvre des aiguitles à Join- ille pertuis).  Fermette de Martot.  Burnge de Port-à-l'Anglais	339 341 344 360 362	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  CHAPITAE XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la cielle-même, et autres.	438 442
Charis porte-rideau  Charist d'enlèvement des châssis et rideaux  Hanœuvre des aiguilles à Join- ville (pertnis)  Fermette de Martot  Surrage de Port-à-l'Anglais.  Charmag XV. Harrages à ride	339 341 344 360 362	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuapirag XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la el elle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouver-	438 442 ppa- inte
Caurage de Villez) Chisis porte-rideau Cariot d'enlèvement des châssis et rideaux Uneuvre des aiguilles à Join- ville [pertuis] Fermette de Martot Burnge de Port-à-l'Anglais. Caurage XV. Barrages à ride sontenus par des parties	339 341 344 360 362 aux	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  CHAPITRE XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la el elle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouverture	438 442
Capus AV. Barrages à ride soutenus par des parties buttenus parties parti	339 341 344 360 362 aux	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Chapitae XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la clelle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouverture  § 2. Grands barrages actionnés	438 442 ppa- inte
Caurage de Villez) Chisis porte-rideau Cariot d'enlèvement des châssis et rideaux Unœuvre des aiguilles à Joinville (pertuis) Femette de Martot. Burage de Port-à-l'Anglais. Caurage XV. Harrages à ride sontenus par des parties biles suspendues à une possipérieure.	339 341 344 360 362 aux	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Chapitae XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la clelle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouverture  § 2. Grands barrages actionnés	438 442 ppa- inte
Chines porte-rideau  Cariot d'enlèvement des châssis et rideaux  Maneure des aiguitles à Join- ville [pertuis]  Fomette de Martot  Burrige de Port-à-l'Anglais  Caume XV. Harrages à ride sontenus par des parties hiles suspendues à une po- supérieure.	339 341 344 360 362 aux mo- utre	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuapirag XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la el elle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouverture  § 2. Grands barrages actionnés par la chute  § 3. De quelques systèmes pro-	438 442 ppa- nute 446 450
Chines porte-rideau  Cariot d'enlèvement des châssis et rideaux  Maneure des aiguitles à Join- ville [pertuis]  Fomette de Martot  Burrige de Port-à-l'Anglais  Caume XV. Harrages à ride sontenus par des parties hiles suspendues à une po- supérieure.	339 341 344 360 362 aux mo- utre 381	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Chapitae XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la clelle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouverture  § 2. Grands barrages actionnés	438 442 ppa- inte
Caurage de Villez) Chisis porte-rideau Cariot d'enlèvement des châssis et rideaux Unœuvre des aiguilles à Joinville (pertuis) Femette de Martot. Burage de Port-à-l'Anglais. Caurage XV. Harrages à ride sontenus par des parties biles suspendues à une possipérieure.	339 341 344 360 362 aux mo- utre	Barrage de la Mulatière: Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuapirae XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la elelle-même, et autres.  § 4. Appareils de faible ouverture  § 2. Grands barrages actionnés par la chute  § 3. De quelques systèmes proposés pour barrages mobiles	438 442 ppa- nute 446 450
Capus XV. Barrages à ride touteurs par des parties touteurs par des parties auteurs par des parties auteurs par des parties touteurs par des parties touteurs par des parties auteurs par des parties per des parties	339 341 344 360 362 aux mo- utre 381	Barrage de la Mulatière: Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Chapitae XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la clelle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouverture.  § 2. Grands barrages actionnés par la chute  § 3. De quelques systèmes proposés pour barrages mobiles  Figures dans le texte:	438 442 ppa- nute 446 450 467
Charis porte-rideau  Charist d'enlevement des châssis et rideaux  Nanoure des aiguilles à Join- rille pertuis)  Femette de Martot  Burnge de Port-à-l'Anglais  Charist XV. Barrages à ride sontenus par des parties hilles anspendues à une por supérieure.  mique. Les grandes chutes  Petiles planches:	339 341 344 360 362 aux mo- utre 381	Barrage de la Mulatière: Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuaprag XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la elelle-même, et autres.  § 4. Appareils de faible ouverture  § 2. Grands barrages actionnés par la chute  § 3. De quelques systèmes proposés pour barrages mobiles  Figures dans le texte:  Portes à vantaux en forme de V.	438 442 ppa- nute 446 450 467
Charis porte-rideau  Charist d'enlevement des châssis et rideaux  Nanoure des aiguilles à Join- rille pertuis)  Femette de Martot  Burnge de Port-à-l'Anglais  Charist XV. Barrages à ride sontenus par des parties hilles anspendues à une por supérieure.  mique. Les grandes chutes  Petiles planches:	339 341 344 360 362 aux mo- utre 381 383	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuapirae XVII. Barrages à ay reils mobiles mus par la el elle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouver- ture  § 2. Grands barrages actionnés par la chute  § 3. De quelques systèmes pro- posés pour barrages mobiles  Figures dans le texte :  Portes à vantaux en forme de V. Portes à vantaux valets	438 442 ppa- nute 446 450 467 446 447
Charis porte-rideau  Charist d'enlevement des châssis et rideaux  Nanoure des aiguilles à Join- rille pertuis)  Femette de Martot  Burnge de Port-à-l'Anglais  Charist XV. Barrages à ride sontenus par des parties hilles anspendues à une por supérieure.  mique. Les grandes chutes  Petiles planches:	339 341 344 360 362 aux mo- utre 381	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuapirae XVII. Barrages à ay reils mobiles mus par la el elle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouver- ture  § 2. Grands barrages actionnés par la chute  § 3. De quelques systèmes pro- posés pour barrages mobiles  Figures dans le texte :  Portes à vantaux en forme de V. Portes à vantaux valets	438 442 ppa- nute 446 450 467
Caprage de Villez) Charis porte-rideau Christ d'enlèvement des châssis et rideaux. Unouvre des aiguilles à Join- rille pertuis) Femette de Martot. Surrige de Port-à-l'Anglais.  Caprag XV. Harrages à ride sontenus par des parties billes suspendues à une por supérieure.  mique. Les grandes chutes.  Petiles planches:  larrage de Poses:  Avaiton d'avai.  Imperiment des passe  Professes serviselle d'une passe	339 341 344 360 362 aux mo- utre 381 383	Barrage de la Mulatière: Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuaprag XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la elelle-même, et autres.  § 4. Appareils de faible ouverture  § 2. Grands barrages actionnés par la chute  § 3. De quelques systèmes proposés pour barrages mobiles  Figures dans le texte:  Portes à vantaux en forme de V.	438 442 ppa- nute 446 450 467 446 447
Carrage de Villez) Charis porte-rideau Cariot d'enlevement des châssis et rideaux Unouvre des aiguilles à Join- ville pertuis) Femette de Martot Burnge de Port-à l'Anglais  Carrage de Port-à l'Anglais  Carrage de Port-à l'Anglais  Inique. Les grandes chutes  barrage de Poses  Petiles planches:  Barrage de Poses:  Varion d'avai  Oupe transversale d'une passe  Profonde navigable	339 341 344 360 362 aux mo- utre 381 383	Barrage de la Mulatière: Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuapirae XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la clelle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouverture.  § 2. Grands barrages actionnés par la chute.  § 3. De quelques systèmes proposés pour barrages mobiles.  Figures dans le texte:  Portes à vantaux en forme de V. Portes à vantaux valets Calcul des efforts qui s'exercent	438 442 ppa- nute 446 450 467 446 447
Carrage de Villez) Charis porte-rideau Cariot d'enlevement des châssis et rideaux Unouvre des aiguilles à Join- ville pertuis) Femette de Martot Burnge de Port-à l'Anglais  Carrage de Port-à l'Anglais  Carrage de Port-à l'Anglais  Inique. Les grandes chutes  barrage de Poses  Petiles planches:  Barrage de Poses:  Varion d'avai  Oupe transversale d'une passe  Profonde navigable	339 341 344 360 362 aux mo- utre 381 383 382 382	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuapitae XVII. Barrages à ay reils mobiles mus par la el elle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouver- ture  § 2. Grands barrages actionnés par la chute  § 3. De quelques systèmes pro- posés pour barrages mobiles  Figures dans le texte :  Portes à vantaux en forme de V. Portes Fourneyron	438 442 ppa- nute 446 450 467 446 447
Carrage de Villez) Charis porte-rideau Cariot d'enlevement des châssis et rideaux Unouvre des aiguilles à Join- ville pertuis) Femette de Martot Burnge de Port-à l'Anglais  Carrage de Port-à l'Anglais  Carrage de Port-à l'Anglais  Inique. Les grandes chutes  barrage de Poses  Petiles planches:  Barrage de Poses:  Varion d'avai  Oupe transversale d'une passe  Profonde navigable	339 341 344 360 362 aux mo- utre 381 383 382 384 386	Barrage de la Mulatière: Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuapirae XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la clelle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouverture  § 2. Grands barrages actionnés par la chute  § 3. De quelques systèmes proposés pour barrages mobiles  Figures dans le texte:  Portes à vantaux en forme de V. Portes à vantaux valets  Calcul des efforts qui s'exercent sur chaque élément du barrage Desfontaines	438 442 ppa- nute 446 450 467 446 447 447
Carrage de Villez) Charis porte-rideau Cariot d'enlevement des châssis et rideaux Unouvre des aiguilles à Join- ville pertuis) Femette de Martot Burnge de Port-à l'Anglais  Carrage de Port-à l'Anglais  Carrage de Port-à l'Anglais  Inique. Les grandes chutes  barrage de Poses  Petiles planches:  Barrage de Poses:  Varion d'avai  Oupe transversale d'une passe  Profonde navigable	339 341 344 360 362 aux mo- utre 381 383 382 382	Barrage de la Mulatière: Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuapirae XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la elelle-même, et autres.  § 4. Appareils de faible ouverture  § 2. Grands barrages actionnés par la chute  § 3. De quelques systèmes proposés pour barrages mobiles  Figures dans le texte:  Portes à vantaux en forme de V. Portes à vantaux valets  Portes Fourneyron  Calcul des efforts qui s'exercent sur chaque élément du bar-	438 442 ppa- nute 446 450 467 446 447 447
Durage de Villez) Chasis porte-rideau Chriot d'enlèvement des châssis et rideaux Unœuvre des aiguilles à Join- ville [pertuis] Femette de Martot Barrage de Port-à-l'Anglais.  Cauma XV. Barrages à ride sontenus par des parties Miles suspendues à une por supérieure.  mique. Les grandes chutes.  Petites planches: Braque de Poses.  Petites planches: Braque de Poses: Braque de Poses	339 341 344 360 362 aux mo- utre 381 383 382 384 386 388	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Chapitrae XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la clelle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouverture § 2. Grands barrages actionnés par la chute § 3. De quelques systèmes proposés pour barrages mobiles.  Figures dans le texte : Portes à vantaux en forme de V. Portes à vantaux valets Portes Fourneyron Calcul des efforts qui s'exercent sur chaque élément du barrage Desfontaines	438 442 ppa- nute 446 450 467 446 447 447
Caurage de Villez) Chasis porte-rideau Chriot d'enlevement des châssis et rideaux. Uncurre des aiguilles à Join- rille pertuis) Femette de Martot. Surrige de Port-à-l'Anglais Caurag XV. Harrages à ride touteurs par des parties hilles suspendues à une por supérieure.  mique. Les grandes chutes  Petites planches: larage de Poses: Levation d'avai oupe transversale d'une passe profonde navigable.  denur articulés, ensemble et détails reul différentiel.	339 341 344 360 362 aux mo- utre 381 383 382 384 386 388	Barrage de la Mulatière: Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuapirae XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la clelle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouverture.  § 2. Grands barrages actionnés par la chute.  § 3. De quelques systèmes proposés pour barrages mobiles.  Figures dans le texte:  Portes à vantaux en forme de V. Portes à vantaux valets  Portes Fourneyron  Calcul des efforts qui s'exercent sur chaque élément du barrage Desfontaines  Petites planches:  Barrage américain de la Neu-	438 442 ppa- nute 446 450 467 446 447 447
Caprage de Villez) Charis porte-rideau Charis d'enlevement des châssis et rideaux Unouvre des aiguilles à Join- ville pertuis) Femette de Martot Burnge de Port-à l'Anglais Caprage de Port-à l'Anglais Caprage de Port-à l'Anglais Miles suspendues à une por supérieure.  Imique. Les grandes chutes barrage de Poses Petiles planches: Barrage de Poses: Caprage de Poses: Caprag	339 341 344 360 362 aux mo- utre 381 383 382 384 386 388	Barrage de la Mulatière: Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuapirae XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la clelle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouverture.  § 2. Grands barrages actionnés par la chute.  § 3. De quelques systèmes proposés pour barrages mobiles.  Figures dans le texte:  Portes à vantaux en forme de V. Portes à vantaux valets  Portes Fourneyron  Calcul des efforts qui s'exercent sur chaque élément du barrage Desfontaines  Petites planches:  Barrage américain de la Neu-	438 442 ppa- nute 446 450 467 446 447 447
Durage de Villez) Chasis porte-rideau Chriot d'enlèvement des châssis et rideaux Unœuvre des aiguilles à Join- ville [pertuis] Femette de Martot Barrage de Port-à-l'Anglais.  Cauma XV. Barrages à ride sontenus par des parties Miles suspendues à une por supérieure.  mique. Les grandes chutes.  Petites planches: Braque de Poses.  Petites planches: Braque de Poses: Braque de Poses	339 341 344 360 362 aux mo- utre 381 383 382 384 386 388	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuapirae XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la elelle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouverture  § 2. Grands barrages actionnés par la chute  § 3. De quelques systèmes proposés pour barrages mobiles  Figures dans le texte :  Portes à vantaux en forme de V. Portes à vantaux valets  Portes Fourneyron.  Calcul des efforts qui s'exercent sur chaque élément du barrage Desfontaines  Petites planches :  Barrage américain de la Neuville-au-Pont  Barrage de Joinville-le-Pont,	438 442 ppa- nute 446 450 467 446 447 447
Caprage de Villez) Charis porte-rideau Cariot d'enlevement des châssis et rideaux. Unicure des aiguilles à Join- rille pertuis) Fematte de Martot Burnge de Port-à-l'Anglais  Caprag XV. Barrages à ride toutenus par des parties hille suspendues à une por supérieure.  Imique. Les grandes chutes barrage de Poses  Petiles planches: Brace de Poses: Brace de Pos	339 341 344 360 362 aux mo- utre 381 383 382 384 386 388	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Chapitrae XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la clelle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouverture. § 2. Grands barrages actionnés par la chute § 3. De quelques systèmes proposés pour barrages mobiles.  Figures dans le texte : Portes à vantaux en forme de V. Portes à vantaux valets Calcul des efforts qui s'exercent sur chaque élément du barrage Desfontaines  Petites planches : Barrage américain de la Neuville-au-Pont. Barrage de Joinville-le-Pont, coupe transversale du déver-	438 442 ppa- inte 446 450 467 447 447 455
Charage de Villez) Charage de Villez) Charage de le châssis et rideaux Ranoure des aiguilles à Join- rille pertuis) Femette de Martot Burnge de Port-à-l'Anglais  Charage XV. Barrages à ride soutenus par des parties hiles suspendues à une por supérieure.  mique. Les grandes chutes barrage de Poses.  Petiles planches: barrage de Poses:  Syation d'avai coppe transversale d'une passe profonde navigable  denux articulés, ensemble et détails beuil différentiel  Alpring XVI. Barrages à van tournantes arc-boutées su radier.	339 341 344 360 362 aux mo- utre 381 383 382 384 386 388 anes ir le	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Cuapirae XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la clelle-même, et autres.  § 4. Appareils de faible ouverture.  § 2. Grands barrages actionnés par la chute.  § 3. De quelques systèmes proposés pour barrages mobiles.  Figures dans le texte :  Portes à vantaux en forme de V. Portes à vantaux valets  Portes fourneyron.  Calcul des efforts qui s'exercent sur chaque élément du barrage Desfontaines  Petites planches :  Barrage américain de la Neuville-au-Pont  Barrage de Joinville-le-Pont, coupe transversale du déversoir	438 442 ppa- nute 446 450 467 447 447 455
Caprage de Villez) Charis porte-rideau Charis d'enlevement des châssis et rideaux Unouvre des aiguilles à Join- ville pertuis) Femette de Martot Burnge de Port-à l'Anglais Caprage de Port-à l'Anglais Caprage de Port-à l'Anglais Miles suspendues à une por supérieure.  Imique. Les grandes chutes barrage de Poses Petiles planches: Barrage de Poses: Caprage de Poses: Caprag	339 341 344 360 362 aux mo- utre 381 383 382 384 386 388	Barrage de la Mulatière : Glissière de M. Pasqueau Manœuvre des fermettes  Chapitrae XVII. Barrages à apreils mobiles mus par la clelle-même, et autres.  § 1. Appareils de faible ouverture. § 2. Grands barrages actionnés par la chute § 3. De quelques systèmes proposés pour barrages mobiles.  Figures dans le texte : Portes à vantaux en forme de V. Portes à vantaux valets Calcul des efforts qui s'exercent sur chaque élément du barrage Desfontaines  Petites planches : Barrage américain de la Neuville-au-Pont. Barrage de Joinville-le-Pont, coupe transversale du déver-	438 442 ppa- inte 446 450 467 447 447 455

1.15	
TABLE DES	MATIÈRES
Pages, arring XVIII. Utilisation des livers systèmes de barra- les mobiles à l'établissement l'une reteque d'eau.  Prix de revient des divers systèmes de barrage	Pages ANNEXES  Les rivières à fond de sable 487  Les rivières de la Lombardie, 530 8 2. Endignement 542 8 1. Débits 550 8 4. Avancement dans la mer 556 8 5. Le land s'enhaussed-il 1. 560 8 6. Navigation du Ph. 561
- 13, 1" ligne de la note, liser / 8: - 13, article / 4/, au lieu de 111 - 136, ligne è en remontant, ajout	ter (88 (po de l'article) ; n remontant, lises greffs, au lieu de l. lises la  au lieu de 4 ;



# PREMIÈRE PARTIE

# PRÉLIMINAIRES

CHAPITRE PREMIER : DE L'ETAT NATUREL DES COURS D'EAU

CHAPITRE DEUXIÈME : DES BATEAUX
ET DE LEURS DIVERS MODES DE LOCOMOTION

CHAPITRE TROISIÈME : DES OPÉRATIONS A FAIRE POUR ÉTUDIER L'AMÉLIORATION DES COURS D'EAU



•

partition of the control

----

# CHAPITRE PREMIER

# DE L'ÉTAT NATUREL DES COURS D'EAU

#### SOMMAIRE:

SOMMAIRE:

1et. — Origine et régime des eaux : 1. Origine des eaux. — 2. Eaux d'infiltration. — 3. Eaux sauvages. — 4. Définitions : Étiage; grandes crues; hautes eaux de navigation. — 5. Mobilité du régime des cours d'eau. — 6. Époques d'étiage et de grandes eaux. — 7. Débit de quelques cours d'eau. — 2. — Constitution du lit des rivières : 8. Forme primitive du lit des rivières : 1. Lit majeur, Lit mineur. Berges. — 9. Corrosions et dépôts. — 10. Mode de transport des matières. Entraînement. Suspension. — 11. Origine des matières charriées. — 12. Action torrentielle. Effets des torrents. Cônes de déjection. — 13. Destruction en dehors de l'action torrentielle. — 14. Travail des cours d'eau. — 13. Vitesse de transport des matières. — 16. Volume des matières transportées. — 17. Effet des endiguements. — 18. Formation du cordon littoral. — 19. Action combinée du cordon littoral et des dépôts fluvialies. Deltas. — 20. Barre dans les mers sans marée. — 21. Barre dans les mers à forte marée. — 22. Mascaret.

3. — Forme du lit des rivières : 23. Profil en long des cours d'eau. — 24. Mouilles et maigres. — 25. Hauts fonds : fixes; mobiles. — 26. Serpentement des rivières. — 27. Profil en travers.

# Figures:

Cordons littoraux dans la Baltique, art. 18. - Lagunes de Venise, art. 18.

# & Ior

# ORIGINE ET RÉGIME DES EAUX

1. Origine des caux. - Sur l'étendue des mers, et surtout dans les zones intertropicales, les vents donnent naissance à une évaporation constante à l'aide de laquelle l'air sec et chaud se charge de vapeur d'eau. Emporté par la circulation atmosphérique, cet air humide rencontre au-dessus des continents des montagnes, des forêts, des courants en sens inverse, qui le refroidissent ou le modèrent, et il en résulte une précipitation de la vapeur, qui est la pluie.

La pluie, après sa chute, se partage en trois parties va-

## 4 CHAPITRE PREMIER. ÉTAT NATUREL DES COURS D'EAU

riables avec l'état du sol qu'elle baigne. Une portion s'infiltre dans les terrains, une autre ruisselle à la surface, la troisième s'évapore à nouveau ou est absorbée par la végétation; nous ne nous occuperons pas de cette dernière, et nous porterons notre attention sur les deux premières auxquelles les cours d'eau doivent leur régime.

2. Eaux d'infiltration. — Les eaux d'infiltration, en pénétrant dans le sol, y rencontrent des conduits, le plus souvent capillaires, à l'aide desquels elles se répandent dans la masse et l'imbibent. Cheminant lentement, sous la double influence de la gravité qui les pousse vers les points bas et de la capillarité qui les retient, elles vont sortir aux points de plus facile émergence et y constituent les sources. Ces sources sont d'autant plus durables que la quantité d'eau emmagasinée au-dessus du point d'émergence est plus grande; elles deviennent même constantes quand les pluies de l'hiver renouvellent la réserve avant que soit épuisée celle de l'année précédente; au contraire, elles sont éphémères quand une mince couche de terre meuble recouvre un sous-sol imperméable.

Les sources réunies à la partie inférieure de chaque vallée y constituent le cours d'eau, qui s'écoule en obéissant aux mêmes lois. Si le lit qui le renferme est imperméable, son volume total est apparent; si le fond de la vallée est formé d'une masse considérable de dépôts perméables, l'écoulement est en partie caché et en partie visible, de telle sorte que le débit constaté par expérience directe peut varier avec la nature du sol aux points d'observation. On a de ce fait des exemples frappants, et tout le monde sait que le Rhône disparaît un peu au-dessous de Genève, et que le Loiret passe pour n'être qu'une dérivation de la Loire.

Une autre conséquence de cette formation des cours d'eau, c'est que dans les vallées étendues dont les versants renferment de puissantes couches perméables, comme le bassin de la Seine par exemple, où dominent les terrains de craie.

Voir, pour cette formation des sources, une notice de M. Bouvier sur les fontaines de Vaucluse, de Nimes, de Groseau, etc. (Annales des Ponts et Chaussées de 1855; 1<sup>er</sup> semestre.)

on peut pressentir le volume des eaux d'été par l'abondance des pluies d'hiver qui s'y emmagasinent. Ce n'est toutefois qu'une simple indication, car le printemps apporte aussi aux réserves un très important appoint.

3. Eaux sauvages. — Les grandes eaux ou crues sont dues aux eaux qui, ne pouvant pénétrer dans le sol, descendent le long des versants et se réunissent en une onde qui s'écoule par le thalweg. On conçoit dès lors comment plus les terrains imperméables sont étendus, et plus les crues sont hautes et rapides. Nous reviendrons d'ailleurs en détail sur ce phénomène en nous occupant des inondations.

Il convient néanmoins d'observer, dès à présent, que les mots perméable et imperméable ne doivent pas être pris dans un sens absolu. D'abord il n'est guère de terrain, si imperméable qu'il soit, dont la surface après des sécheresses ne soit susceptible d'absorber des pluies assez abondantes; et, réciproquement, un terrain perméable, quand il est saturé dans ses couches supérieures, laisse aussi bien ruisseler l'eau qu'un autre.

Nombre de circonstances, d'ailleurs, viennent se jeter à la traverse et modifier la situation résultant de la constilution géologique du terrain. Ainsi, par exemple, après une chute de neige abondante suivie d'une pluie tiède, il peut se produire des désastres dus à cette coïncidence. En sens inverse, les lacs produisent sur les torrents un effet régulateur analogue à celui des terrains perméables. Le lac Léman pour le Rhône, le lac de Constance pour le Rhin, les lacs de la Haute-Italie pour le Pô, et surtout les grands lacs de l'Amérique du Nord pour le Saint-Laurent, sont des modérateurs qui calment le flot produit par l'écoulement torrentiel des eaux dans les affluents supérieurs. Pendant tout le temps que le niveau des lacs monte, il est évident qu'ils laissent échapper moins d'eau qu'ils n'en reçoivent ; au contraire, lorsqu'ils vident, c'est qu'ils donnent plus que le tribut des affluents : il s'ensuit que la crue à la sortie du lac est plus longue et moins forte qu'elle ne l'aurait été si le lac n'avait pas existé, puisque l'emmagasinement temporaire des eaux sauvages n'aurait pas eu lieu.

4. Définitions. — On appelle étiope l'état d'un cours d' pendant le moment des basses eaux normales qui se présen chaque année. Ce n'est pas la situation qui correspond minimum connu de son débit, mais celle que les précéde font considérer comme probable en moyenne. Le niveau l'étiage est très utile à fixer parce qu'il est habituellem celui qui sépare, dans les constructions, les fondations reste de l'ouvrage; la partie supérieure sera vraisemblement accessible et visible, la partie inférieure exigé contraire des moyens spéciaux d'exécution.

Le plus les étinge correspond au moindre des débits als vés dans le passé. C'est sur lui qu'on se base pour arrête

mouiflage minimum à laisser aux baleaux.

Les grandes ernes sont celles qui sortent du lit et innectoute la vallée. Sur les rivières de France, en debors des mangres, elles s'élèvent rarement à plus de 6 à 8 mètres aussi de l'étiage; la Garonne cependant a dépassé 10 mètres Italie, le Pô monte à ce dernier chiffre; le Nil, pour une de 7°, 40 au Caire, donne 9 mètres à Assouan (700 kilomè au-dessus). Le Mississipi à Cairo, près de la jonction du la fleuve avec le Missouri et l'Ohio, a des crues de 14 mèt tandis que la dénivellation n'est que de 5 mètres au-desset va en s'ahaissant jusqu'à 4 mètres près de la Nouve Orléans. Ce sont les plus hautes eaux commes sur lesque il est nécessaire d'être renseigné, pour déterminer la haut des ouvrages qui doivent être insuhmersibles.

Un peu avant le débordement prennent place les trues correspondent aux heutes eux de navigation. Leur niv est utile à connaître à plusieurs points de vue. D'abord, à au-dessus de ce niveau que doit être compté l'espace à la libre sous les ponts pour le passage des bateunx; en set lieu, les ouvrages exclusivement réservés à la naviga peuvent s'arrêter là, paisqu'elle ne se pratique plus au-des ou du moins ne se pratique qu'exceptionnellement à risques et périlsf; enfin la jurisprudence en a fait la lis séparative du lit et des propriétés riveraines, et lui a anti-ainsi une valeur juridique du plus haut intérêt.

Ce n'est pas que les plus bautes caux navigables so

susceptibles d'une définition rigoureuse et que, par suite, cette limite soit très heureusement choisie; mais, en pareille matière, il faut bien accepter ce qui est consacré par les arrêts souverains, et prendre pour les hautes eaux de navigation la trace que laisserait sur les berges une crue de hauteur suffisante pour arriver, dans chaque partie de rivière soumise à un régime régulier, à la hauteur des terrains les plus bas sans les submerger; c'est le plenissimum flumen de la légis-lation romaine.

llest bien évident que quelques portions des berges peuvent être submergées sans que la navigation s'arrête, même quand elle a recours au halage sur la rive, et à plus forte raison quand elle se sert de la vapeur; il serait facile d'ailleurs, en exhaussant les chemins de halage, de reculer le moment où ils cessent d'être praticables; mais, en somme, comme il faut bien une limite, et qu'il est au fond assez rationnel d'admettre que la navigation s'arrête au moment où les contours du lit s'effacent dans le débordement, on placera les hautes eaux de navigation au plenissimum flumen. Nous aurons, du reste, à traiter plus amplement cette question, à propos de la délimilation du lit des cours d'eau.

Les eaux ordinaires ou moyennes sont celles qui se traduisent par un bon niveau, sans que la vitesse se soit assez développée pour devenir gênante. Elles sont ordinairement comprises entre l'étiage et un état supérieur de un mètre, et correspondent à la navigation la plus facile à la descente.

5. Mobilité du régime des cours d'eau. — Ce serait un lort, d'ailleurs, que de considérer ces divers états des cours d'eau comme se reproduisant foujours sous l'influence des mêmes circonstances atmosphériques. L'étiage s'appauvrit de plus en plus par suite de la destruction des forêts qui facililaient l'imbibition du sol et, par suite, l'emmagasinement sur les sommets. Le desséchement général des étangs produit un effet du même genre, et l'agriculture, en développant ses irrigations, utilise les sources à leur origine, 'augmentant ainsi la partie des eaux pluviales absorbée par l'évaporation de la régétation. Chacun sait qu'un hectare arrosé pendant l'été



# 8 CHAPITRE PREMIER. ÉTAT NATUREL DES COURS D'EAU

absorbe un litre par seconde et, par suite, l'irrigation de 100 kilomètres carrés enlève 10 mètres cubes par seconde au cours d'eau principal. Il n'y a donc rien de surprenant à ce que le volume des eaux d'été aille en s'appauvrissant.

Quant aux crues, d'autres causes agissent sur elles et tendent à en aggraver les effets. Nous étudierons plus tard l'influence des cultures à ce point de vue; nous nous bornerons en ce moment à signaler les conséquences des endiguements et des curages, sur lesquels nous reviendrons également, parce que ces opérations offrent une preuve immédiate des variations possibles du régime des rivières sous l'action de la main de l'homme. Il est évident, en effet, que lorsque les eaux d'un cours d'eau débordent, le débit à ce moment diminue de la quantité qui s'emmagasine; la crue monte moins haut et dure plus longtemps. Empêchons cet emmagasinement sur une partie notable de la vallée, soit par des digues, soit par des curages, et nous aurons jeté plus d'eau dans le même temps sur les parties placées en aval; nous y aurons donc aggravé les submersions; et toutes choses égales d'ailleurs les grandes crues y atteindront un niveau de plus en plus élevé, tandis que les crues jadis moyennes y produiront les inondations que donnaient auparavant les grandes.

Nous avons dit « toutes choses égales d'ailleurs »; c'est qu'en effet les tendances aggravantes que nous venons de signaler ne sont pas, heureusement, les seules qui agissent sur le phénomène. Autrefois les ponts n'avaient ni la légèreté ni les grandes ouvertures qu'on leur donne aujourd'hui; les rivières renfermaient de nombreuses usines dont les digues arrêtaient les eaux et fixaient la trace locale de niveaux exceptionnels. Il arrivait même souvent que, dans cette succession de submersions étagées, un obstacle venant à céder, le flot qui en résultait, en tombant sur les barrages inférieurs, y occasionnait une surélévation momentanée atteignant ou dépassant même le niveau actuel; mais on n'a pas le droit d'en conclure que l'intensité des crues diminue, et que le volume débité en grandes caux n'est pas plus considérable qu'il ne l'était autrefois, pour une pluie de la même intensité. Les

observations faites sur le Pô par les ingénieurs italiens, depuis plusieurs siècles, observations dont nous parlerons à propos des inondations, confirment au contraire l'augmentation de la violence des crues, à mesure que les endiguements se développent et se fortifient, et le fait nous semble trop rationnel pour qu'il soit possible de le contester.

6. Époques d'étiage et de grandes eaux. — Les époques d'étiage et de grandes eaux varient beaucoup avec les régions où naissent les rivières. Les vallées commandées par des massifs montagneux d'une grande hauteur, où la précipitation se fait sous forme de neige, ont un étiage d'été et un étiage d'hiver. L'hiver, la neige s'accumule et le débit diminue à mesure que les froids se font sentir; l'été, au contraire, sous l'action du soleil, les glaciers fondent et alimentent le cours d'eau qui est généralement abondant avec les chaleurs et ne s'appauvrit qu'en août et septembre, alors que la fusion se ralentit. Quant aux crues, elles arrivent d'habitude au printemps et à l'automne, en avril, mai, octobre, novembre et même décembre, alors qu'une température élevée et des pluies tièdes déterminent la fusion de neiges récemment tombées et non tassées.

Les autres cours d'eau sont généralement bas pendant l'été. Ils sont en eaux moyennes en hiver, et leurs grandes crues se sont sentir habituellement en mai et juin ou en octobre, au moment où de fortes variations de température amènent d'abondantes précipitations d'eau. La durée et surtout la simultanéité des pluies ont une grande influence sur les crues, de telle sorte que les observations météorologiques peuvent sutiliser à la prévision des inondations. C'est ainsi que dans le bassin de la Seine les crues sont généralement hivernaies el causées par un refroidissement des vents d'ouest et de sud-ouest, qui remplissent la vallée après s'être chargés de vapeurs sur la mer. Pour les cours d'eau qui prennent leur source dans le plateau central de la France, les vents de sudol, c'est-à-dire venant de la Méditerranée, sont particulièrement à craindre, surtout s'ils se rencontrent sur ces hauts plateaux avec un courant du nord qui en abaisse la tempéra-

# 10 CHAPITRE PREMIER, ÉTAT NATUREL DES COURS D'EAU

ture. Dans la région pyrénéenne ce sont les vents de nordouest qui, après avoir pris leur vapeur à l'Atlantique, viennent s'engousser dans des gorges étroites et se heurter à des montagnes à pic, le long desquelles l'air humide stationne en s'élevant. En un mot, le moment le plus fertile en variations atmosphériques, soit comme courants, soit comme température, c'est-à-dire le voisinage des équinoxes, est celui où les grandes crues ont le plus de chance de se manifester.

2. Débits de quelques cours d'eau. — Tout ce que nous venons d'exposer montre combien sont incertaines les données recueillies sur le débit des cours d'eau. Au moment des crues, les constatations sont d'une extrême difficulté, tandis que les anomalies les plus choquantes peuvent se rencontrer. Ainsi au confluent de deux cours d'eau importants, le choc des deux flots, s'ils sont simultanés, amène une intumescence et un débit considérable pendant quelques instants; puis, immédiatement en aval, un débordement se réalise qui apaise l'onde en l'emmagasinant et en prolongeant sa durée, de telle sorte que deux observateurs placés l'un au confluent, l'antre à 50 kilomètres au-dessous, pourront trouver un débit à la seconde moindre en aval qu'en amont.

A l'étiage, c'est encore pis: d'abord à cause des pertes que nous avons signalées; puis ensuite en raison de ce que le cours d'eau, comme nous l'avons dit plus haut, n'est que la partie apparente de l'écoulement total à travers le sol de la vallée. Un jaugeage direct donne donc une évaluation simplement locale, et là encore on peut aboutir à des résultats qui semblent contradictoires.

C'est sous le bénéfice de ces réserves que nous donnons les chiffres suivants, destinés à fournir une idée approximative de ce que sont les débits de quélques cours d'eau \*.

Cette observation montre qu'il n'est pas toujours exact, pour évaluer le débouché des pouts, de se baser sur le débouché de œux qui existent déjaen aval. C'est admettre implicitement un d'fortfort que l'on a souvent le droit de récuser.

<sup>2.</sup> Ces nombres ont été pour la plupart fournis par M. Malèzieux en 1876 ...

GOVERN DITTO	LIEUX	DÉBIT PAR SECONDE	
COURS D'EAU	D'OBSERVATION	A L'ÉTIAGE	EN PLUS HAUTES BAUX
Aisne	Soissons	7mc	555m°.
Dordogne	Libourne	42	5.500
Durance		70	6.000
1	Toulouse	37	4.788
Garonne	Agen	))	8.500
	Langon	86	7.500
Loire.	Orléans	25	6.500
Loire	Briare	30	9.000
Meuse	Embouchure du ca-		
Medse.,,,,,,,	nal des Ardennes.	15	700
Moselle	Liverdun	8	1.100
Moscho	Metz	18	2.000
Rhin	Kehl	342	4.600
l i	Lyon	210	8.000
·	Valence	330	9.600
Rhône	Pont-Saint-Esprit .	<b>36</b> 0	11.900
	Beaucaire	400	13.900
{	Arles	400	10.600
Saône	Chalon	40	3.000
	Lyon	50	3.500
Seine	Paris	48	3.300
Somme	Abbeville	20	80 1

On donne le nom de *Module* au débit moyen d'un cours d'eau, c'est-à-dire à la moyenne de toute la quantité d'eau débitée pendant l'année.

Le module du Rhin à Kehl est d'environ 1.000 mètres cubes; celui du Rhône de 865 mètres cubes à Lyon et de 1.900 à Beaucaire.

<sup>1.</sup> On attribue en eaux moyennes: au Danube, 9.000 mètres cubes par seconde, au Saint-Laurent 10.000, et au Mississipi 17.000.

# § II

# CONSTITUTION DU LIT DES RIVIERES

S. Forme primitive des vallées. — Les vallées ont été plus irrégulières qu'elles ne le sont à notre époque. Les plus et les fractures de l'écorce terrestre, pendant les transformations géologiques qui se sont succédé, avaient créé une suite de lacs et de rapides analogues à ceux que nous voyons aujourd'hui dans les régions montagneuses de formation relativement récente. Peu à peu, les lacs se sont comblés, les déversoirs se sont creusés, et il en est résulté une atténuation dans le contraste des pentes du cours d'eau, qui tantôt serpente dans une plaine d'alluvion et tantôt suit une gorge étroite dans laquelle il est emprisonné. Le sillon dans lequel se maintiennent habituellement les eaux est le *lit mineur*; l'espace recouvert par les crues et qui, le plus souvent, s'étend d'un versant à l'autre, est le *lit majeur*.

Le Pô a un lit mineur de un à deux kilomètres et un lit majeur qui varie de cinq à soixante kilomètres suivant le point de son cours où on l'envisage.

Le Nil, dont le cours régulier offre un lit mineur de 6 à 700 mètres, se répand sur 16 kilomètres dans sa basse vallée.

Le Mississipi vers Cairo s'étend sur des largeurs qui vont jusqu'à 130 kilomètres, alors que son lit mineur, assez régulier, n'a que 900 mètres entre ses deux rives jusque vers la Nouvelle-Orléans.

Les berges sont les bords du lit mineur ou sillon; elles sont au-dessus de l'étiage et au-dessous des grandes eaux. Leur hauteur au-dessus de l'étiage est très variable; c'est 2<sup>m</sup>,50 à 3 mètres sur la Loire, 4 mètres à 4<sup>m</sup>,50 sur la Seine et la Saône, un mètre seulement sur la Somme, deux mètres sur la Meuse.

Elles se composent dans la plupart de nos grandes vallées de couches alternées de gravier et de sable plus ou moins vaseux, c'est-à-dire de matériaux détritiques d'espèces diverses que les courants ont successivement amenés. De distance en distance apparaît une des couches géologiques qui formaient autrefois les déversoirs des lacs, et qui affleure dans le lit, au milieu des dépôts. Ceux-ci, recouverts d'un peu de terre végétale, forment d'habitude la presque totalité de la surface du lit majeur.

- 9. Corrosions et dépôts. Il résulte de cette composition du sol que les eaux, en obéissant à la gravité qui leur imprime une certaine vitesse, sont constamment en contact avec un sol d'alluvion qu'elles peuvent corroder et sur lequel elles usent leur impulsion, de façon à prendre le mouvement régulier qui leur convient, sans accélération. Les affouillements, considérables au moment des crues, principalement sur les points où la pente s'y prête, font place à des dépôts là où la vitesse se calme; et cet état, variable avec le relief du sol, nel'est pas moins avec le volume des eaux qui agissent et la résistance des terrains traversés. Il y a donc une perpétuelle rénovation du lit, par corrosions et par dépôts, les alluvions se trouvant ainsi charriées du haut de la vallée vers la mer.
- 10. Deux modes de transport des matières. Ce charroi des matières solides par l'eau des rivières s'effectue de deux façons : tantôt elles sont entraînées en roulant sur le lit, tantôt elles subissent un transport véritable en demeurant suspendues dans la masse liquide, malgré leur densité plus grande. L'entraînement se constate facilement d'une manière directe. On n'a qu'à prêter l'oreille au bord d'un cours d'eau torrentiel, lors de la fonte des neiges, pour percevoir le bruissement des galets et des cailloux qui frottent les uns contre les autres. La nature géologique de certains matériaux accuse également leur venue de régions éloignées; et, en ce qui concerne le sable, il est facile de le voir se déplacer dans les eaux claires et peu profondes de certains cours d'eau comme la Loire. Il n'est pas jusqu'à la forme arrondie de ces matériaux transportés qui ne soit la preuve de chocs répétés en même temps que celle d'une facilité de plus en plus grande à se déplacer sons l'action du courant. Il suffit d'une vitesse de 0",15 pour mettre en mouvement un limon grossier; à

0° 20 le suble fin s'éleande et à 0°,70 le petit gravier peut cheminer. Quant aux pierres plates, elles ont besoin d'une vitesse de 1°,80 qu'elles ne rencontrent que rarement dans des rivières de quelque importance, sur le périmètre mouillé du mains. Ces chifires résultent d'expériences réalisées à diverses époques dans des cannox artificiels dont ou faisait varier la pente et par suite la vitesse.

Quant an transport par suspension dans un courant, il est plus difficile à comprendre, mais anssi aisé à constater. D'abord, en recueillant de l'eux dans une crue à diverses profendeurs et en la laissant déposer, on trouvers un find du vase les matières mêmes qui étaient en suspension et qui, dans une expérience de ce genre, ne peuvent offeix qu'un très petit uniume. En y ajoutant l'action du temps, ou est en présence de faits plus développés qui ne laissent aucune place aux dontes. Dans les crues de la Laire, par exemple, alors que les berges sont surmonties et qu'un certain courant se dessine sur les parties basses de la vallèr, il se forme, en debors du lit, et à l'ahei de chaque buisson, un petit dépôt de sable pur qui vient évidemment du fleuve. Ce sable n'a pas été empranté aux environs, puisque le sol y est herbu; il n'a pu être entraîné sur le plan incliné de la berge, paisane or plum incliné est souvent un taltes à pie ; il fallait donc qu'il fit en suspension. Nous ne faisons pas allesion iri, bien entiendr, urs dépots de sable qui se montrent à la suite d'une rupture de brèche ; il se développe alues des courants d'une telle intensité qu'un conquit pendant qualques mimols le transpect violent d'une partie de lit ; nous avons vouln purier des dépôts qui s'effectuent pendint une crue normale. même peu considérable, et où l'effet en question est à peu près lingours remarque.

Fint-il s'en étonner? Nous un le pensons pas. On a ve unifier en l'infin des pluies de sable dont l'arigine saharierne parait incontestable; des pluies de poussière se constatent jusqu'in milieu de l'Adiantique, et il n'est pas surprement des lors que l'eur en mouvement paisse accomplir un travail de neme gours. M. Dupart, dans ses études sur le mouvement des sons commiss, a figural une explication du phénomères; il a admis un effet de succion dù à la vitesse relative des filets fluides. On sait, en effet, que l'intensité d'un courant liquide n'est pas la même partout, dans la section qui le limite. Plus forte à la partie supérieure et au milieu de la largeur, la vitesse décroît près du fond et des bords, et il en résulte une pression moindre à la partie supérieure de chaque particule qui roule qu'à sa partie inférieure ; de là, une tendance au soulèvement proportionnelle non à la vitesse absolue, mais à la vitesse relative des filets liquides. C'est là une théorie qui nous paraît contestable à bien des points de vue. Ne serait-il pas aussi vraisemblable de considérer chaque particule transportée comme enveloppée par le fluide en mouvement et soulenue tant par sa viscosité que par l'état de tension que le courant lui communique. L'adhérence de cette particule au fluide est mesurée par sa surface, tandis que la gravité n'agit que par le poids; ce second élément décroissant beaucoup plus vite que le premier avec les dimensions, on conçoit que la suspension, à une certaine limite, puisse en résulter. Au repos, au contraire, le temps permet aux molécules du fluide d'obéir peu à peu à l'action persistante de la gravité; elles se séparent pour se rejoindre ensuite, après avoir livré passage ancorps étranger, et les couches peuvent se superposer dans l'ordre de leurs densités, bien plus aisément que quand des chocs répétés troublent incessament l'équilibre stable qui cherche à s'établir.

Quoi qu'il en soit, tantôt roulant, tantôt suspendues, il est certain que les matières qui constituent le lit des cours d'eau subissent des déplacements perpétuels de l'amont vers l'aval, et l'on est conduit à se demander d'où viennent ces matières, où elles vont et ce qu'elles deviennent. C'est ce que nous allous maintenant examiner.

11. Origine des matières charriées. — L'origine n'est pas douteuse; elles proviennent des montagnes qui commandent les sources. La cause première de destruction réside dans les phénomènes météorologiques. Tantôt c'est la chaleur qui provoque une dessication et un retrait de la roche; tantôt c'est le froid qui amène un fendillement et permet à l'eau de

s'y introduire pour agir au moment des gelées comme le ferait un coin; tantôt c'est une couche tendre qui disparaît et laisse tomber la couche dure qu'elle soutenait; en un mot, il y a une tendance perpétuelle à la destruction, qu'il est aisé de constater dans les pays de montagnes en examinant les blocs que chaque hiver détache des sommets, et surtout à la vue du travail des torrents dans les régions où ils développent leur activité, dans les Alpes par exemple.

12. Torrents. — Arrètons-nous un instant sur ce travail des torrents qu'il est aisé d'observer, parce que rien ne le cache à la vue; cette étude aura cet avantage que nous y trouverons l'indication de ce qui doit se passer au sein des rivières, alors que la masse des eaux dérobe la marche des dépôts à notre observation.

Tout d'abord, qu'est-ce qu'un torrent?

Dans le langage ordinaire, tout cours d'eau impêtueux prend le nom de torrent. Pour nous, d'après M. Surell, le torrent présente les caractères suivants: « Il coule dans une vallée très courte', morcelant la montagne en contreforts, quelquefois même dans une simple dépression. Ses crues sont courtes et presque toujours subites. Sa pente excède six centimètres par mètre, sur la plus grande longueur de son cours, et ne s'ahaisse pas au-dessous de deux centimètres par mètre. Sa propriété caractéristique est d'affouiller dans la montagne, de déposer dans la vallée, et de divaguer ensuite, comme conséquence de ces dépôts. »

Toute la portion du flanc de la montagne qui est ravinée par un même torrent, c'est-à-dire dont les sillons divers aboutissent à un même point de la vallée, constitue le bassin de réception; au contraire, le terrain sur lequel les matériaux se répandent forme le lit de déjection que l'on nomme aussi côme de déjection, à cause de la forme qu'il affecte. Entre le bassin de réception et le cône de déjection, au passage du déblai au remblai, se trouve le canal ou couloir d'écoulement qui est comme le goulot de l'entonnoir par

<sup>1.</sup> Les torrents les plus longs n'atteignent par ninq hours de cours.

lequel passent les matières charriées en se transportant de la montagne à la vallée.

Lorsqu'un système hydraulique de ce genre a commencé à s'esquisser sur un versant chargé de matières détritiques, comme les Alpes en présentent tant, le mal fait de rapides progrès. Sous l'action d'une pluie d'orage ou d'une fonte de neige, l'eau se précipite de toutes parts dans les sillons qu'elle creuse et dont les berges s'éboulent par masses considérables. Les malériaux se réunissent, se détrempent, et forment une masse pâteuse, qui, de tous les points du bassin de réception, se dirige vers le couloir d'écoulement. La lave (car on lui denne ce nom) se lamine entre les parois de ce couloir; puis, à l'issue, se répand dans la vallée, adoptant pour forme une fraction de cône droit. Cette forme s'impose naturellement au début en raison de la consistance uniforme de la masse pateuse, puis les coulées ultérieures la développent et la régularisent par un jeu incessant de dépôts et d'affouillements. Chaque coulée, en effet, en sortant du couloir, trouve sur le cône une pente moindre que celle qui l'entraînait, et les dépôts s'y arretent : l'eau qui les poussait, rendue libre alors, s'ouvre un chemin latéralement et prépare la voie à la coulée future qui barrera à son tour l'issue récente et aidera à en creuser une nouvelle qui sera fermée à son tour; de telle sorte que, de proche en proche, l'alluvion se répartit sur tout le cône, tandis que les eaux par cela même y divaguent.

Ces effets se produisent sur une échelle immense; il y a des cônes de déjection dont la base présente un développement de plusieurs kilomètres; il y a des sillons dans le bassin de réception qui ont des profondeurs de quatre-vingts à cent mètres, avec des parois à pic. On conçoit aussi comment, en vertu de la vitesse acquise, l'arête du cône qui prolonge le couloir d'écoulement se charge toujours un peu plus que les autres, et néanmoins reçoit les eaux ordinaires du torrent. Il arrive parfois, en effet, que les grands torrents, en dehors de la période d'activité que déterminent les orages ou les fontes de neige, ne débitent qu'un filet d'eau, simple drainage de la masse détritique qui constitue le bassin de réception. On a ainsi ce spectacle bizarre d'un cours d'eau placé sur

# 18 CHAPITRE PREMIER, ÉTAT NATUREL DES COURS D'EAU

un point culminant; c'est la règle générale des torrents.

Le cône de déjection s'avance ainsi dans la vallée jusqu'à ce qu'il rencontre le cours d'eau principal. A partir de ce moment, la lutte commence; le cours d'eau attaque le pied du cône, est repoussé par lui dans les moments de grande activité, complètement barré 'parfois; mais alors il s'élève, sa force affouillante augmente et à chacune de ses crues il entraîne un peu de ces déjections qui arrivent par masses, de telle sorte qu'il s'établit, non un état d'équilibre, mais une compensation par périodes en vertu du jeu de ces forces naturelles, qui tendent toujours à s'équilibrer.

Tous ces matériaux descendus des hauteurs sous forme de béton de vase contenant du sable, des galets et même d'énormes blocs, cheminant avec la lenteur mais avec la force irrésistible de la lave des volcans, sont alors désagrégés, entraînés, et rentrent dans la circulation pour former le sol des vallées et y reprendre sous une nouvelle forme leurs alternatives de corrosions et de dépôts.

13. Destruction en dehors de l'action torrentielle. -L'action torrentielle, du reste, dont nous avons parlé avec quelque détail parce qu'elle est une des causes principales de transport de matières, n'est pas indispensable, et beaucoup de nos cours d'eau, sans torrents proprement dits à leur source, offrent des phénomènes analogues, quoique moins nettement accusés. Ceux-là même qui prennent naissance dans les terrains primitifs n'y échappent pas. Sous l'influence des agents atmosphériques, le granit se délite, des blocs se détachent des sommets, éclatent et se divisent; la fonte des neiges aidant, par éboulement ou par toute autre cause, ils tombent dans le cours d'eau torrentiel. Là, ils sont roulés, écornés, brisés, et peu à peu deviennent des galets. En s'usant encore par le frottement, ils se changent en sable, et ce sable lui-même, arrivé au dernier dégré de ténuité, est la vase que roulent beaucoup de nos rivières quand elles tombent dans la mer.

Telle est la métamorphose qui s'opère, quand on peut la suivre des terrains primitifs à l'embouchure. Toutefois, mille éléments nouveaux viennent à la traverse et modifient sa marche. D'abord, ce sont les eaux sauvages qui descendent des versants par les affluents et jettent à chaque jonction leur part de matières; ce sont ensuite les corrosions et les dépôts que subit le lit, qui déterminent de nouveaux départs tout en arrètant les alluvions venues du haut. C'est la pente variable du lit qui provoque tantôt des dépôts, tantôt des affouillements. Ce sont les variations de la crue du cours d'eau principal, snivant le jeu des affluents, qui modifient sa puissance de transport d'un point à un autre. Ce sont mille causes, dont nous ne citons que les principales, qui transforment le phénomène à chaque pas. En un mot, et à travers des anomalies sans nombre, les sommets s'attaquent et peu à peu descendent de l'amont vers l'aval, de sorte que le travail qui s'opère tend toujours, comme le dit M. de Lapparent, à placer les matériaux transportés dans une position de plus en plus voisine de la stabilité.

14. Travail des cours d'eau. - Comme sur les torrents. le travail sur les cours d'eau est intermittent et, bien que sur une toute autre échelle, les phénomènes sont identiques. Chaque affluent apporte au cours d'eau principal son cône de déjection. Le cours d'eau principal à chacune de ses crues, et même en eaux ordinaires si son volume le comporte, attaque ce cone de déjection et en entraîne les matériaux aussi loin que les circonstances de son écoulement le lui permettent. Là, il les dépose en haut fond et cherche à divaguer comme le faisait le torrent. Si ses rives le lui défendent, il s'élève, franchit son seuil, s'anime d'une nouvelle vitesse, et tantôt déplace l'obstacle, tantôt affouille ses bords pour reformer plus loin un autre seuil; mais, en somme, d'une extrémité à l'autre du cours d'eau, c'est un travail perpétuel plus ou moins intense suivant le débit, qui brasse les matières transportées, et en même temps calme la vitesse des eaux en utilisant leur activité, tant dans ce transport que dans les remous qui sont la conséquence des irrégularités du lit.

15. Vitesse de transport des matières. - La vitesse de transport des matières est inconnue, et en tout cas bien diffi-

cile à constater, puisqu'elle varie du tout au tout avec le volume des eaux, et que, d'ailleurs, ainsi que nous l'avons vu, il se fait en route de nombreux échanges par l'effet des atterrissements et des corrosions. On a cru remarquer sur la Loire un déplacement moyen de trois à cinq mètres par jour, mais nous citons ce chiffre sans l'affirmer.

- 16. Volume des matières transportées. Des calculs plus sérieux ont été faits sur le volume des dépôts jetés annuellement dans la mer; on a été amené à penser qu'il sortait de la Garonne 5 millions de mètres cubes; du Rhône, 21 millions; du Var, qui n'est qu'un torrent, 14 millions; du Pô, 43 millions; du Danube, 60 millions; du Mississipi, 170 millions. Ce sont là les quantités dont s'accroît chaque année le dépôt qui se fait à l'embouchure des fleuves, dépôt qui prend le nom de delta, et qui est, lui aussi, le cône de déjection du fleuve, dont toute la vallée est le bassin de réception.
- 17. Effet des endiguements. Il ne faut pas croire que, dans ce grand phénomène naturel, la main de l'homme ne puisse se faire sentir et en modifier les effets; trop souvent elle intervient. Si nous disons trop souvent, c'est qu'en cette matière comme en bien d'autres le mal est plus aisé à réaliser que le bien. Tout d'abord, les défrichements, la culture mal placée, la dépaissance dans des proportions exagérées, en ameublissant les versants détritiques, donnent aux torrents une activité qu'ils n'auraient pas, s'ils demeuraient livrés à euxmêmes. En second lieu, les endiguements le long des cours d'eau, en concentrant les eaux des crues, augmentent leur puissance de transport; sous l'impulsion de ce flot, il y a un déplacement de matières plus violent et plus prolongé, suivi généralement d'un dépôt plus subit et plus haut; le mal devient plus rare, mais plus fort. Si la disposition des lieux devenait telle que les dépôts pussent passer sans arrêt du torrent au cours d'eau secondaire, du cours d'eau secondaire au fleuve et de celui-ci à la mer, il se créerait à l'embouchure, à chaque crue, un seuil d'une puissance énorme et la barre serait impraticable. Heureusement, cette hypothèse limite ne peut se réa-

liser; et c'est peu à peu que se forment les atterrissements qui constituent les deltas.

18. Formation du cordon littoral. — Pour bien comprendre la naissance des deltas, il convient d'examiner d'abord l'étal général du littoral maritime, sous l'empire des forces qui le régissent, à ce même point de vue des matières transportées.

Comme les rivières et bien plus activement encore, la mer allaque son rivage. Ce ne sont plus seulement les agents atmosphériques, ce sont encore les vagues qui viennent user leur force vive sur les obstacles qu'elles rencontrent. Ce qu'elles arrachent aux falaises, ou même aux plages sur lesquelles elles se brisent, est hallotté le long de la côte, tantôt poussé, tantôt repris, mais cheminant toujours par cette succession de va-et-vient, suivant une direction que déterminent les vents régnants. Là, tout en se broyant par des chocs répélés, les matériaux lancés contre le rivage, tantôt augmentent la puissance destructive de la mer, là où se dresse un terrain résistant; tantôt, au contraire, épuisent par leur transport ce qui lui reste de force quand elle ne rencontre qu'une plage inclinée, sur laquelle elle vient mourir. Dans le premier cas il ya corrosion, dans le second il y a dépôt; ce dépôt a reçu le nom de cordon littoral.

Le cordon littoral est donc une sorte de barrage naturel qui s'opère spontanément entre deux caps, suivant une ligne plus au moins courbe et qui sépare la partie agitée, tumul-lueuse, des eaux, de celle où l'agitation cesse en même temps que la grande profondeur. D'un côté, c'est la mer; de l'autre, c'est une lagune. C'est ainsi que se sont formés sur la Baltique la Frische et la Kurische-Haff, entre Memel et Dantzig, et sur l'Adriatique les lagunes de Venise et de Comaccio; dans la Méditerranée, les étangs de Cette, d'Agde, de Narbonne, etc. Telle est encore l'origine des bourrelets de galets que l'on tronve sur tout le litoral de l'Océan et notamment à Audierne; elle est encore la cause première des dunes maritimes qui ne sont qu'un cordon littoral de sable, retroussé sans cesse par le vent et envahissant la contrée voisine lorsque rien ne s'oppose à sa marche. « Les rochers et les terres, dit Brémontier dans

un mémoire du 25 avril 1780 (Annales des Ponts et Chaussées de 1833, 1º semestre), sont continuellement battus, soulevés, froissés les uns contre les autres, roulés et entraînés par le mouvement constant et toujours actif des eaux vers le fond du golfe de Gascogne; les quartz, les cailloux, les graviers,

Cordons littoraux dans la mer Baltique.



Lagunes de Venise, Échelle de 0m,0012 par kil.



Coups transversale d'un cordon littoral.

en se détruisant eux-mêmes, minent insensiblement et à la longue les masses les plus fortes et les rochers les plus durs. l'ous ces débris enfin se décomposent, se broient et s'atténuent sur la plage, jusqu'à ce qu'assez réduits, et pour ainsi dire pulvérisés, ils puissent être enlevés par les vents, jouer un nonveau rôle dans la nature, et y reparaître sous une nouvello formo. .

Ainsi le cordon littoral, en s'établissant là où l'inclinaison de la plage et la dentelure du rivage s'y prêtent, tend à fermer les anses avec une partie des matériaux qu'il enlève aux caps; et cet effet se produisant à l'embouchure des fleuves comme ailleurs, il s'ensuit que souvent c'est dans une lagune que se place leur estuaire.

19. Deltas. — Que peut-il arriver alors, quand au milieu vient se jeter un cours d'eau chargé d'alluvions au moment des crues? Évidemment la lagune doit se combler d'abord au droit du courant, puis quand un nouveau lit s'est créé à travers ces dépôts, les eaux attaquent le cordon littoral, l'écrètent, et un nouvel atterrissement se forme en dehors de la première limite, sous forme de cap qu'un nouveau cordon rattache à l'ancien. Les alluvions fluviatiles et les alluvions marines se succèdent ainsi, et s'appuyant les unes sur les autres forment un remblai sur la mer; tantôt par une bouche, tantôt par plusieurs, elles s'avancent dans une direction variable avec le régime de la côte, en dessinant ces promontoires hàbituellement has, humides, marécageux qu'on appelle les deltas.

Ces promontoires atteignent souvent des proportions immenses. Le delta du Rhône (l'île de Camargue) a 650 kilom. carrés; celui du Nil, 23,000; celui du Gange, 48,000; celui du fleuve Jaune, 250,000. La Cochinchine française n'est pas

antre chose que le delta du Meï-Kong.

En résumé, dit M. de Lapparent, le travail de la mer sur les côtes plates est essentiellement créateur; par la formation des cordons littéraux, l'Océan ajoute aux continents peutêtre plus qu'il ne leur enlève par la destruction des falaises, parce que ces cordons deviennent pour les alluvions fluviales

un point d'appui précieux. »

Nous devons toutefois faire remarquer que ce travail n'est pas partout également apparent. Dans les mers sans marées ou à faibles marées, les dépôts de toute nature peuvent aisément se produire et se maintenir, tandis que dans les mers à grandes marées, deux fois par jour le flux et le jusant passent et repassent, nivelant sous leur action puissante les alluvions qui tendent à se former, modifiant tout au moins leur allure dans une large proportion. De là une différence très sensible dans le régime de l'embouchure, suivant qu'un fleuve tombe dans les mers sans marées ou dans les mers à fortes marées.

20. Barres dans les mers sans marée. — Dans les premières, le courant chargé d'alluvions, au moment où la section s'épanouit, laisse tomber les matériaux charriés, mais le dépôt ne se répartit pas uniformément dans toute la section. Vers le milieu, les flots liquides animés d'une plus grande vitesse conservent leur force de transport plus longtemps que les autres, tandis que sur les bords, dans une eau relativement tranquille, l'alluvionnement se produit avec plus d'intensité. Une nouvelle rive se constitue ainsi à la suite de la première, tantôt submergée, tantôt apparente, et le régime fluvial se prolonge de lui-même avec un relèvement général du fond, plus considérable sur les bords, moins marqué au milieu, mais dans tous les cas restreignant notablement la profondeur qu'offrait le fleuve aux environs de son embouchure.

Cette surélévation locale est ce qu'on appelle la barre; et, si nous nous sommes bien fait comprendre, on concevra comment, dans les mers sans marées, la rive se prolongeant toujours et le fleuve s'avançant à mesure dans la mer, la barre doit se déplacer avec lui, et marcher dans le même sens avec la même vitesse. Le Rhône nous offre un exemple frappant de ce phénomène. La ville d'Arles, qui au 17º siècle était à vingt-six kilomètres de la mer, en est à cinquante aujour-d'hui. La tour Saint-Louis bâtie à deux kilomètres de la mer, en 1737, en est maintenant éloignée de huit kilomètres. Pendant les seize années écoulées de 1856 à 1872, la barre a marché d'environ soixante mètres par an.

On a constaté également un avancement annuel d'environ soixante-dix mètres pour la barre du Pô et de quatre-vingtdix mètres pour celle du Mississipi, le tout compté, bien entendu, sur leurs principales embouchures. On comprend que dans cet immense travail d'alluvionnement, au milieu de tempêtes du côté de la mer, et de crues du côté des fleuves, il arrive toujours qu'à travers le delta plusieurs bras se dessinent et donnent naissance, pour chacune des nouvelles embouchures, aux mêmes effets que sur l'embouchure principale. Quoi qu'il en soit, dans les mers sans marée, la barre se transporte toujours en avant de la côte vers le large, à mesure que le delta se développe, jusqu'à ce que, si les circonstances s'y prêtent, il se soit créé spontanément un létat d'équilibre entre l'apport des matières et les courants littoraux qui les entraînent.

- 21. Barres dans les mers à forte marée. Dans les mers à forte marée, cet effet ne peut se produire; les crues apportent bien leur contingent comme dans le cas précédent, mais les courants qui se développent sous l'action de la marée, et qui sont le phénomène dominant dans l'estuaire, balaient ce qui s'oppose à leur passage et amènent une sorte d'état d'équilibre entre les divers dépôts et les chasses qui les dispersent. Cet état d'équilibre n'est pas constant, il varie avec l'intensité des forces qui agissent tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre; mais en somme la barre repasse périodiquement par les mêmes états, avec la reproduction des mêmes causes, en sorte que l'on peut la considérer comme fixe, si on la compare à la barre des fleuves qui se jettent dans les mers sans marée.
- est vrai, un phénomène dont le véritable nom est Mascaret, qui s'observe à l'embouchure de certains fleuves. C'est une rentrée violente, sous forme d'ondes qui se succèdent rapidement, du flot dans le lit du cours d'eau au moment où le jusant est terminé. Le mascaret se produit principalement pendant une période de vents d'amont bien établie; il semble que la marée, retardée par cette cause spéciale, se gonfle au large jusqu'au moment où l'impulsion devient assez forte pour triompher de l'obstacle qui lui est opposé, et pénétrer rapidement dans l'estuaire en refoulant brusquement les eaux qui l'occupent. Le mascaret est redouté des navires mouillés en rivière, parce qu'ils sont parfois assez violemment poussés par lui pour rompre leurs amarres. La cause, du reste, en est inconnue.

### \$ III

# FORME DU LIT DES RIVIÈRES.

La forme du lit d'une rivière peut étre envisagée sous trois aspects, suivant que l'on considère son profil en long, son profil en travers ou son plan.

23. Profil en long des cours d'eau. — Le trait caractéristique du cours d'eau, c'est sa pente générale, qui est celle de la vallée. De cette pente naît la vitesse, et généralement l'une et l'autre vont en décroissant de la source à l'embouchure, sans que ce soit pourtant une règle générale.

La Loire offre un exemple de décroissance assez régulière. Sa pente kilométrique, qui atteint 15 mètres près de la source, n'est plus que de 0<sup>m</sup>,70 vers Roanne; elle diminue ensuite graduellement, et se trouve réduite à 0<sup>m</sup>,17 entre Saumur et Nantes.

Le Pô se présente dans des condititions analogues; il a pour pente kilométrique: 0<sup>m</sup>,40 vers Pavie; de 0<sup>m</sup>,30 à 0<sup>m</sup>,25 entre Pavie et Crémone; de 0<sup>m</sup>,25 à 0<sup>m</sup>,45 entre l'Adda et l'Oglio; 0<sup>m</sup>,41 vers Ferrare, à l'embouchure du Panaro; 0<sup>m</sup>,06 au-dessous de Ferrare.

Il en est encore de même de la Garonne, à laquelle on attribue : 70 mètres à sa source près de la Maladette (vallée d'Aran); 7<sup>m</sup>,60 à son entrée en France, à l'amont de St-Béat; 1<sup>m</sup>,20 au confluent de l'Ariège, près de Toulouse; 0<sup>m</sup>,90 entre Toulouse et l'embouchure du Tarn; 0<sup>m</sup>,50 entre le Tarn et le Lot; 0<sup>m</sup>,24 du Lot à Castets, près de la Réole; 0<sup>m</sup>,14 de Castets à Langoiran; 0<sup>m</sup>,04 de Langoiran à Bordeaux.

La Seine est plus tranquille. On lui trouve : 0",23 de Marcilly à Montercau ; 0",19 de Montercau à Paris ; 0",10 de Paris à Rouen.

Parmi les cours d'eau à pente irrégulière nous citerons : Le Rhône, qui offre les pentes suivantes : 1º,20 près de Seyssel; 0<sup>m</sup>,56 en aval de Lyon; 0<sup>m</sup>,65 entre Tournon et Valence; 0<sup>m</sup>,85 vers Montélimar; 0<sup>m</sup>,86 vers Pont-Saint-Esprit; 0<sup>m</sup>,35 à 0<sup>m</sup>,40 vers Avignon; 0<sup>m</sup>,48 de Tarascon à Arles; 0<sup>m</sup>,02 d'Arles à la mer.

La Marne, où les pentes kilométriques sont de : 0<sup>m</sup>,16 de Dizy à Lagny; 0<sup>m</sup>,28 de Lagny à Joinville; 0<sup>m</sup>,30 dans la partie appelée Tour de Marne; 0<sup>m</sup>,55 sur les quatre derniers [kilomètres en arrivant à la Seine, de telle sorte qu'à partir du milieu de son cours, les pentes kilométriques croissent au lieu de décroître.

Nous mentionnerons encore, comme exemples de pentes

Le Mississipi qui, sur ses 1.300 derniers kilomètres, n'a que 0°.047 par kilomètre;

Le Nil qui, sur 900 kilomètres, entre Assouan et le Caire, n'en a que 0<sup>m</sup>,41;

Et la Theiss, affluent du Danube qui, sur un long parcours de 1,100 kilomètres, a réduit sa pente kilométrique à 0<sup>m</sup>,04 en moyenne.

24. Mouilles et Maigres. — Il ne faudrait pas, toutefois, altribuer à la pente des rivières la régularité qui semble résulter de ces moyennes. En réalité le profil en long moyen, tel que nous venons de l'indiquer, se compose le plus souvent d'une succession de parties moins inclinées que la vallée, séparées par des rapides. Ces rapides sont plus ou moins éloignés, suivant que l'inclinaison moyenne est plus ou moins douce; mais ils existent de distance en distance, et c'est sur leur emplacement que l'on trouve les hauts-fonds ou maigres, qui séparent les parties creuses ou mouilles.

Il en résulte que si la pente générale des eaux présente une suite d'inclinaisons plus ou moins différentes, mais sans contrepentes, le profil en long du thalweg, au contraire, tantôt s'abaisse et tantôt se relève, dessinant çà et là de véritables saillies partout où sont les maigres.

Ces hauts-fonds sont de nature diverse :

25. Hauts-fonds fixes, hauts-fonds mobiles. — Les uns sont naturels et fixes; ils sont dus à la constitution géologique du sol, qui a résisté à l'érosion, là où s'est creusé le déversoir servant d'émissaire aux lacs primitifs. (Art. 8.) Les autres sont le produit du travail d'érosion du cours d'eau, et nous nous arrêterons un instant sur ce qui les concerne, en raison de l'importance que présente la question au point de vue de l'amélioration des rivières.

Nous avons vu que les eaux, en cheminant à travers la vallée sous l'action de la gravité, entraînaient constamment de l'amont à l'aval une masse considérable de matériaux empruntés aux versants. Quand la rivière passe de l'état de crue à l'état d'étiage, ces transports diminuant d'intensité, on concoit qu'il doit se former de distance en distance des dépôts qui occupent une partie du lit, et dans une certaine mesure gênent l'écoulement. Sur ces points le niveau se relève, un rapide se forme, et les eaux ont assez de force pour affouiller le lit en aval et 'en déplacer les matériaux. Mais, par cela même que ce travail est accompli, la vitesse s'éteint à quelque distance de là, et les matériaux déplacés viennent reconstituer un haut-fond en aval de l'affouillement; ce haut-fond s'élève peu à peu, jusqu'à ce que le niveau qu'il impose aux eaux en amont ait atténué la vitesse et rétabli l'équilibre général entre les érosions et les apports, tel que le veulent les conditions naturelles de la vallée.

Ce haut-fond ainsi formé est franchi à son tour par des eaux libres, c'est-à-dire qui ont effectué leur principal dépôt; elles s'animent à la descente d'une vitesse qui leur permet un nouvel effort, apaisé comme le précédent par un affouillement suivi d'un dépôt, et de proche en proche on voit nécessairement se succéder les mouilles et les maigres. Plus la rivière est torrentielle et plus cet effet se manifeste, plus on constate, toutes choses égales d'ailleurs, que les mouilles sont profondes et les maigres voisins de l'étiage.

Cette alternative se produirait dans un cours d'eau à fond mobile, même en le supposant rectiligne et enserré entre deux berges inattaquables qui ne lui permettraient pas de déplacement très sensible. A plus forte raison doit-il en être ainsi dans la nature, où non seulement le fond mais encore les berges sont mobiles. On conçoit, en effet, que si, par une cause quelconque, le courant est jeté sur une rive, les filets fluides qui y convergent la corrodent, la creusent, puis subissent dans l'érosion même une réflexion vers la rive opposée sur laquelle ils sont dirigés, en même temps que s'épuise leur énergie. Dans ce trajet les matériaux transportés se déposent pour un motif analogue à celui que nous développions tout à l'heure, et l'on voit ainsi le maigre se former dans le passage d'une rive à l'autre, tandis que la mouille demeure le long de la nive concave corrodée.

De quelque manière donc que les eaux agissent, soit sur le fond, soit sur les berges, il y a concordance d'effet et tendance constante à la formation de seuils; le faisceau liquide qui omstitue le cours d'eau, après avoir usé une partie de sa force affonillante à la rive concave, se relève, s'épanouit, dépose en haut-fond les matériaux qu'il entraînait tout à l'heure, puis jette à la rive opposée en dessinant une chute le long du déversoir qu'il a lui-même créé, pour recommencer un peu plus loin un travail identique. Pour qu'il en fût autrement, il faudrait que sur toute sa longueur le lit fût inattaquable et les eaux sans matières transportées, ce que les circonstances almosphériques ne permettent jamais.

26. Serpentement des rivières. — Supposons maintenant ce travail suffisamment prolongé, et la rive concave de
plus en plus attaquée, il est évident que les sinuosités iront
en s'accentuant et que, de plus en plus, on verra la longueur
du lit se développer par rapport à son état primitif. C'est ainsi
que la Theiss présente un cours développé de 1.180 kilomètres
dans une vallée qui n'en a que 560; le phénomène auquel est
du cet allongement de parcours se nomme le serpentement
des rivières.

Ce serpentement se limite de lui-même, du reste, par l'effet des inondations. Quand la rivière est sortie de son lit la pente naturelle reprend ses droits, et un jour vient où le courant, coupant au plus court d'une sinuosité à l'autre, s'ouvre vio-lemment un nouveau chenal et abandonne l'ancien, qui peu à

#### 30 CHAPITRE PREMIER, ÉTAT NATUREL DES COURS D'EAU

peu se sépare de la rivière et devient une sorte d'étang que l'on appelle boire sur la Loire, losne sur le Rhône, et ailleurs bras morts, ou mortes. Cette rectification du lit donne lieu à de nouvelles érosions, suivies de nouveaux déplacements, et ainsi de suite; de telle sorte qu'en somme le profil en long et le plan, dans les limites du lit majeur, peuvent être dans un perpétuel état de mobilité, et le sont en effet sur beaucoup de cours d'eau.

27. Profil en travers. — Le profil en travers porte la trace des mêmes modifications : le lit s'approfondit au pied de la rive concave dont le talus est toujours roide, tandis que la rive convexe offre une pente douce dont le pied s'atterrit de plus en plus. Quant au thalweg, il est voisin de la première et s'éloigne de la seconde, demeurant très haut et indécis lorsqu'il passe de l'une à l'autre. On a cherché à établir des relations entre les diverses données qui régissent le problème , mais il sera bien difficile, à notre avis, d'arriver à un résultat, d'abord parce que ces données sont très nombreuses et peu connues, et ensuite parce que les transformations qui s'opèrent sont tantôt lentes et tantôt brusques, sous l'action de causes tout à fait irrégulières et qui échappent ainsi à l'analyse.

<sup>1.</sup> Voir notamment dans les Annales des Ponts et Chaussées de 1863 (1er semestre) et de 1882 (octobre), les notes de M. Fargue, et en 1871 (1er semestre) les (notes de MM. Partiot et Lechalas. Nous reproduisons en Annexe le mémoire de ce dernier ingénieur, Sur les rivières à fond de suble.



#### CHAPITRE II

# DES BATEAUX ET DE LEURS DIVERS MODES DE LOCOMOTION

#### SOMMAIRE:

- Des bateaux employés pour la navigation intérieure : 28. Bateaux de rivière. — 29. Bateaux de canaux. — 30. Effort exigé par un bateau en marche sur une nappe d'eau de grande surface. — 31. Sur un canal. — 32. En courbe.
- § 2. Du Halage: 33. Conditions dans lesquelles s'opère le halage. 34. Halage à bras. 35. Halage mixte. 36. Halage avec chevaux. 37. Halage à longs jours. 38. Halage obligatoire.

- jours. 38. Halage obligatoire.

  § 3. Navigation à la voile et à la dérive: 39. Navigation à la voile. 40. Dérive

  § 4. Navigation à la vapeur: 41. Ses avantages. Ses effets.

  § 5. Bateaux à propulseur: 42. Aubes ou hélice. 43. Bateaux porteurs. —

  44. Remorqueurs. 45. Grappins du Rhône.

  § 6. Du Touage: 46. Principe du touage. 47. Symétrie du toueur. 48. Longueur de la chaîne. 49. Tambours à gorges. 50. Poulies extrêmes. 51. Convoi toué. 52. Bateau frein. 53. Passage des écluses. 54. Prix du touage. 55. Système Bouquié. 56. Touage dans les souterrains. 57. Cables de touage. 58. Résumé. 59. Essais comparatifs faits en Amérique - 60. Système Larmanjat.

#### & Ior

### DES BATEAUX EMPLOYÉS POUR LA NAVIGATION INTÉRIEURE

28. Bateaux de rivière. — Les bateaux employés en France aux transports sur les rivières et canaux sont de formes très diverses, et tendent, dans chaque région, à reproduire le type que les besoins locaux avaient fait adopter. Sur les rivières, ils sont en général plus grands, plus forts et n'exigent qu'un tirant d'eau assez faible. Ils ont de 5 à 8 mètres de largeur, une longueur de 35 à 45 mètres, et sont susceptibles de régler leur chargement suivant les exigences de la navigation pour ne s'immerger que de 0<sup>m</sup>,70 ou 0<sup>m</sup>,80 au moment de l'étiage, et pour accepter au contraire 1<sup>m</sup>,50 en eaux abondantes. Leur genre de construction est assez solide pour résister à ces variations et pour supporter les efforts de traction et les manœuvres qu'exige une navigation en rivière, surtout à la remonte. Autrefois, alors que la main d'œuvre et les matériaux étaient moins chers, il se construisait sur certains fleuves, la Loire notamment, des bateaux légers et économiques qui ne marchaient qu'à la descente et qui, leur voyage unique fait, étaient dépecés et vendus; cette spéculation serait impossible aujourd'hui.

29. Bateaux de canaux. - Les bateaux de canaux sont moulés sur les écluses qu'ils doivent traverser; le plus grand. nombre, pour correspondre aux dimensions habituelles desécluses des canaux, ont 5 mètres de largeur; leur longueur est de 30 à 35 mètres et le tirant d'eau, il y a quelques années. encore, était renfermé entre 1",20 et 1",35. Sur le canal de l'Ourcq, sur le canal du Berry, sur les canaux de Bretagne, ils sont plus petits, sur d'autres voies ils sont plus grands; mais cette diversité, due à la variété des écluses à traverser et qui était regrettable, va probablement disparaître avec les transformations qui s'opèrent en ce moment, aux termes de la loi du 5 août 1879. Les prescriptions de cette loi ont pour but d'ouvrir toutes les lignes principales de navigation aux bateaux du Nord, appelés péniches, qui avec 5 mètres de largeur, 38",50 de longueur et 1m,80 de tirant d'eau portent 275 tonneaux. Il est probable que ce sera là le type le plus suivi dans l'avenir.

Destinés à une navigation facile et exempte de dangers, les bateaux de canaux sont souvent dépourvus d'agrès suffisants

<sup>1.</sup> Exception doit être faite pour les bateaux à vapeur du Rhône et de la Saône qui, avec le même tirant d'eau et une largeur analogue entre tambours, ont une longueur qui va jusqu'à 120 et 110 mètres. Ces longues coques, appliquées à une navigation spéciale, sont de véritables radeaux flottants qui, sur les rapides, acceptent dans le sens vertical une inflexion sensible. L'usage a fait adopter ces dimensions exceptionnelles sur la Saône, dont le régime est tranquille, comme sur le Bhône qui est torrentiel; il est probable que dans l'un et l'autre cas ils répondent à des besoins commerciaux dont on ne se rend pas bien compte u prieri.

et révèlent, en général, une construction par trop économique; il s'ensuit fréquemment des accidents, et il serait utile de réagir contre cette tendance. L'Administration, dans son règlement-type, qui accompagne la circulaire ministérielle du l'mai 1882, a donné aux agents de la navigation les moyens d'y parvenir; il sera utile d'en user, sans sortir cependant trop rapidement des usages consacrés jusqu'ici.

30. Effort de traction. — Un bateau qui navigue sur un cours d'eau très large, ou sur un lac, éprouve de la part de l'eau une certaine résistance. Il résulte d'expériences faites par M. Dupuy de Lôme que cette résistance croît moins vite que le carré de la vitesse, quand celle-ci est très faible; comme le carré de la vitesse quand elle a une valeur moyenne de 3 à 5 mètres par seconde; plus rapidement que le carré de la vitesse quand celle-ci dépasse 5 mètres. Mais une foule d'autres causes influant sur la question, on peut admettre la proportionnalité au carré de la vitesse.

La section immergée du maître-couple est un autre élément qui entraîne encore une variation proportionnelle dans la résistance, et enfin la forme du bateau qui navigue influe aussi dans une très large mesure sur l'effort correspondant à une vilesse donnée. Si l'on appelle S la section immergée en mètres rarrés au maître couple, V la vitesse en mètres, E l'effort et K un coefficient variable avec les formes de la coque, on aura la formule E = KSV2, dans laquelle K représentera 55 kilogrammes pour un bateau constitué en prisme rectangulaire droit, et 8 kilogrammes seulement pour les grands bateaux à vapeur très fins et très rapides. On serait même arrivé, paraîtil, dans des essais récents, à des résultats trois fois plus avantageux. Toutefois, pour ce qui concerne les bateaux qui naviguent sur les canaux et rivières, dont les formes massives recherchent avant tout la capacité, il est sage de compter sur 35 ou 40 kilogrammes pour la valeur de K. Dans une eau courante, V serait la vitesse relative du bateau.

31. Traction dans un canal. — Lorsque le bateau se meut dans un canal, et surtout dans une partie de canal à section rétrécie, l'effort à faire pour lui imprimer la même vitesse devient beaucoup plus considérable. La coque dans son mouvement refoule devant elle une onde qui doit passer de l'avant à l'arrière, et dont le passage est d'autant plus difficile que le rétrécissement est plus grand. D'Aubuisson a donné pour ce cas la formule :

$$E = K \frac{S^2 V^2}{C + 2S}$$

dans laquelle C représente la section du canal, les autres -ctations demeurant les mêmes que ci-dessus, et le coefficient K étant égal à 140 kilogr. Toutefois nous n'oserions recommander cette formule qui, dans certains cas, et notamment en tenant compte des expériences faites sur le canal Centre, n'est pas d'accord avec les résultats de l'expérier ce. Tout ce que nous pouvons dire, c'est que, sur le canal du Mi di, pour V = 0. 8168, S = 6.84, C = 26.55, on a trouvé E = 4.20kilogr. Au canal du Centre, pour V = 0.27, S = 5<sup>m</sup>,50, C 17. 64, on a trouvé E = 52 kilogr.

Si l'on passe aux sections tout à fait étroites, c'est-à-d =re aux tranchées et souterrains, il résulte des expériences M. Bazin' que, dans le souterrain de Pouilly, pour V=0. extstyle 2, S=6 metres, C=13.86, E devient 590 kilogr, et que l'on p ut poser, pour la traction d'un seul bateau de 6 mètres carrés maître couple immergé, la formule approximative:

$$E = 1200^k V^2$$

Mais si l'on remorque plusieurs bateaux en convoi, le p mier bateau seul offre la résistance qui vient d'ètre indiqu et ceux qui le suivent n'ont besoin que d'un effort moi moindre, ce qui peut justifier l'application de la formule :

$$E = 600 (n + 1) V^2$$

n étant le nombre des bateaux du convoi.

Ces observations, du reste, présentent les plus grandes de

if-

سالت 1. Voir le mémoire de M. Comoy sur les frais de traction au canal Centre. (Note C: Annales des Ponts et Chaussées, 2° semestre 1855.)
2. Voir le mémoire de M. Bazin sur le touage dans le souterrain Pouilly. (Annales des Ponts et Chaussées, 2° semestre 1868.) de

licultés, par suite des fortes oscillations que détermine, dans le bief, le passage d'un convoi un peu long. Il y a refoulement des eaux et formation d'une onde qui va se réfléchir successivement sur les portes d'amont et d'aval et qui, dans son va-etvient, trouble les conditions de tirant d'eau et de vitesse dans une assez large mesure.

32. Effort dans une courbe. — Tout ce que nous venons de dire s'applique à la navigation en ligne droite, et il est évident que le parcours d'un bateau sur une courbe présente une difficulté de plus. Dans un mémoire assez récent', M. Flamant a cherché à analyser l'influence des courbes sur la traction, et entres autres résultats il signale que l'effort nécessaire pour mouvoir un bateau avec une vitesse donnée dans une courbe de 100 mètres de rayon dépasse le double de celui qui produirait la même vitesse dans un canal rectiligne; tandis que si la courbe a 500 mètres de rayon, cet effort ne doit être augmenté que de 1/2 environ. Loin de contester l'influence retardatrice des courbes, nous estimons qu'elle est au moins celle que donne M. Flamant, car ses calculs ne font pas entrer en ligne de compte la perte de force, assez considérable, qu'entraîne l'action du gouvernail, et celle qui résulte de l'obliquité de la force motrice pendant le halage ou même pendant le remorquage d'un bateau, lorsque cette force n'est pas placée à bord.

Pour tenir compte, dans une certaine mesure, de cet accroissement de traction spécial aux courbes, lequel se complique d'ailleurs de difficultés d'évolution à la rencontre de deux bateaux, l'administration, dans sa circulaire du 19 juillet 1880, a prescrit de donner au plafond dans les courbes, pour les canaux où il est réglé à 10 mètres, une largeur égale à 10<sup>m</sup> + 380<sup>m</sup>. Le plafond est supposé à 2 mètres en contre-bas de

la retenue normale, et R est le rayon de la courbe mesuré sur l'axe. La formule est d'ailleurs empirique et a également en vue de faciliter le croisement des bateaux.

<sup>1.</sup> Annules des Ponts et Chaussées, février 1881.

Quoiqu'il en soit de ces détails, il est certain que la question de la résistance des bateaux à la traction est loin d'être éclaircie, et que l'on peut se demander encore si le type qui a été adopté est celui qui convient le mieux à toutes les exigences du trafic. Il offre en tous cas de grands avantages, et la batellerie du Nord est de beaucoup la plus nombreuse et la mieux organisée; il était on ne peut plus rationnel de lui ouvrir partout le réseau de la navigation intérieure. L'avenir n'en demeure pas moins réservé, et nous reviendrons sur cette question en nous occupant de l'exploitation des canaux.

# § II

#### DU HALAGE

33. Conditions dans lesquelles il s'opère. — Le halage s'effectue de la rive à l'aide d'hommes ou de bêtes de somme. Il donne lieu par suite, en général, à une traction oblique que l'on est obligé de combattre par l'action du gouvernail, ce qui est toujours une perte de force. La manœuvre du gouvernail a pour but, en effet, de placer l'axe du bateau dans une direction légèrement oblique à la route suivie. Cette obliquité développe alors sur le flanc du bateau june réaction de l'eau suffisante pour combattre l'attraction à la rive et, par cela même, l'effort du haleur doit être plus considérable.

Bien des circonstances, d'ailleurs, entrainent des variations dans la résistance au mouvement. Tantôt c'est le vent qui agit comme force directement opposée et repousse la coque; tantôt c'est sa direction perpendiculaire à la route suivie, qui contraint le bateau à se placer très obliquement sous peine d'être jeté à la rive; tantôt c'est le point d'attachée de la force qui ne coıncide pas avec le centre de gravité du systême en mouvement, et force encore à accentuer les effets du gouvernail. En un mot, il est nécessaire que la puissance en réserve ne soit pas strictement ce qu'exige la moyenne.

A la remonte le halage est pénible, mais sûr; le bateau se guide à volonté, parce qu'il n'y a que peu de vitesse acquise, et que le gouvernail a toujours beaucoup d'action. A la descente, il n'en est pas de même, si la marche n'est pas notablement supérieure à celle du courant, parce que cette action du gouvernail est due à la vitesse relative du bateau et du cours d'eau. Le halage est donc difficile dans ce cas, et lorsqu'on y a recours, on se sert, au lieu de gouvernail, de forts avirons placés aux deux extrémités du bateau, à l'aide desquels on peut obtenir les déplacements dont on a besoin pour suivre la direction voulue.

Dans tous les cas, pour favoriser le halage, il est utile de rapprocher autant que faire se peut le chenal de la rive, d'allonger la cordelle qui sert à la traction, et de la placer à une hauteur suffisante pour éviter son frottement sur la rive. C'est pour obtenir un résultat du même genre que l'on coupe soigneusement les accrues qui s'élèvent au-dessus des berges.

34. Halage à bras. - Sur les canaux à fréquentation faible ou même movenne, le halage à bras est encore l'un des plus usités; et, il faut le reconnaître, l'un des plus économiques. Deux hommes trainent, avec une vitesse variable avec le chargement, un bateau qui porte de 80 à 140 tonnes. C'est un travail extrêmement pénible, qu'il ne serait pas possible de soutenir si les écluses ne venaient à de courts intervalles permettre des repos chèrement acquis. La vitesse atteint rarement un kilomètre à l'heure et, avec le temps consacré aux écluses, on ne saurait compter sur plus de 8 à 40 kilomètres dans la journée. Le prix de la traction seule est de 5 à 7 millimes par tonne et par kilomètre; le loyer du bateau, l'assurance, les faux frais et le bénéfice valent à peu près autant, en sorte que le prix du fret, très variable du reste avec les circonstances commerciales, va de 10 à 14 millimes par tonne et par kilomètre.

35. Halage mixte. — Sur le canal du Berry, pour passer dans des écluses très étroites, on se sert de petits bateaux qui n'ont que 2°,50 de large et portent 50 tonneaux. Ils sont traînés par un ane logé à bord, qui est secondé, lorsque les circonstances l'exigent, par le marinier et par sa famille, suivant les besoins. Cette organisation, toute primitive, fait concurrence aux grands bateaux, sans désavantage, non seulement sur les canaux qui communiquent avec le canal du Berry, mais encore sur les rivières du bassin de la Seine. Elle offre, d'ailleurs, une relation des plus heureuses entre la puissance du moteur et l'effort moyen à produire, en sorte que le prix est le même que tout à l'heure, tout en gagnant 2 ou 3 kilomètres dans la journée.

36. Halage avec chevaux. — Le halage avec chevaux permet d'atteindre de 44 à 18 kilomètres par jour. Le prix de la traction devient alors de 11 millimes et le fret en totalité monte à 17 ou 18 millimes. Avec des relais, on arrive à 20 ou 22 millimes, mais on peut alors cheminer à raison de 25 à 30 kilomètres par jour. Bien des bateaux, aujourd'hui, îmitent les bateaux du Berry, et ont à bord leurs chevaux qu'ils embarquent et débarquent suivant leurs besoins. C'est un procédé évidemment avantageux, mais il est d'une pratique moins courante; il exige plus de soins et de précautions et se prête moins à toutes les combinaisons économiques qui sont le caractère saillant de cette industrie.

Sur les rivières, l'emploi de chevaux est indispensable, à la remonte surtout. Au moment des crues, on est obligé de multiplier les attelages dans une proportion telle que ce mode de transport ne saurait, en ce moment spécial, donner de bénéfices.

Le prix, à cause de ces éventualités, est très incertain; les assurances sont plus chères, ou demeurent suspendues à un moment donné; un pilotage s'ajoute aux autres frais. En somme, le fret, que l'on croit varier normalement de 20 à 40 millimes par tonne et par kilomètre, est influencé non seulement par les circonstances dans lesquelles se trouve le cours d'eau, mais encore et surtout par la concurrence com-

merciale, de telle sorte que les chiffres que nous venons d'énoncer sont plutôt ce qui devrait être que ce qui est

37. Halage à longs jours. — Le halage à longs jours n'est pas autre chose qu'une entreprise faite par un industriel pour assurer la traction d'un bateau dans des conditions déterminées à l'avance, et moyennant un prix consenti. C'est un marché particulier dont nous n'avons pas à nous occuper ici.

38. Halage obligatoire. - Un décret du 19 juin 1875 a rendu obligatoire le halage pour les bateaux qui parcourent l'Escaut, le canal de Saint-Quentin, le canal de la Sensée, la Scarpe, la Deule, etc., en un mot les voies qui mettent en communication Paris avec le Nord et la Belgique. Cette atteinte à la liberté commerciale a été motivée par l'encombrement de certaines voies navigables, qu'il était indispensable de dégager; jusqu'ici on semble en avoir obtenu de bons résultats. Il n'en serait pas moins difficile, peut-être, de généraliser une mesure de ce genre. L'organisation est sommairement la suivante : Un entrepreneur, sur chaque lot, se charge d'assurer le halage de tous les bateaux qui se présenteront à des prix déterminés par son adjudication et qui varient suivant les sections parcourues et le sens du mouvement. Ces prix sont moyennement, par kilomètre, de 2 millimes par tonne de jauge de la coque, plus de 3 à 6 millimes par tonne de chargement effectif. Le service de nuit relève le tarif d'un tiers, il en est de même du service accéléré. Le halage est obligatoire pour tous les baleaux chargés, à l'exception des bateaux à vapeur, ou de ceux qui marchent à la voile ou à la gaffe; il est facultatif pour les bateaux vides. Seuls, les petits bateaux chargés de moins de 10 tonnes peuvent être halés à bras.

Tel est l'essai qui se poursuit en ce moment, et qui, comme nous venons de le dire, semble réussir jusqu'à présent. Nous

ne vondrions en rien affirmer son avenir.

On consultera avec fruit, sur cette question du halage des baleaux, les mémoires suivants insérés dans les Annales des Ponts et Chaussées:



#### 40 CHAPITRE II. BATEAUX. MODES DE NAVIGATION

1831 (2° semestre), Rapport d'un Comité anglais; 1846 (2° semestre), M. Lambrecht; 1851 et 1855 (2° semestre), M. Comoy; 1859 (2° semestre), M. Lamarle.

# § III

# NAVIGATION A LA VOILE ET A LA DÉRIVE.

39. Navigation à la voile. — La navigation à la voile est très peu pratiquée sur les rivières à l'intérieur des terres. La force motrice du vent ne peut en effet s'utiliser qu'accidentellement au milieu des circuits des cours d'eau; les ponts sont d'ailleurs si multipliés, et les chenaux si étroits, que ce procédé de navigation ne peut être regardé que comme un auxiliaire parfois dangereux dont on profite lorsque l'occasion s'en présente, mais sur lequel il est impossible de compter.

Il n'en est pas de même dans la partie maritime des rivières, où les ponts sont rares, où les navires marins de formes fines sont toujours munis des agrès nécessaires à la navigation à la voile, et où en général, d'ailleurs, la largeur et la profondeur des cours d'eau sont beaucoup plus considérables. Là, l'emploi de la voile rend de grands services, surtout quand il peut se combiner avec la navigation à la dérive dont nous allons dire quelques mots.

40. Navigation à la dérive. — Lorsqu'une rivière présente des courants alternatifs sous l'influence de la marée, il est naturel d'utiliser cette force motrice et de la laisser transporter le bateau soit à la remonte, soit à la descente, en choisissant son heure. Il y a toutefois une grande difficulté à se maintenir dans le chenal, parce que le vent, lorsqu'il n'est pas favorable, et c'est le cas général, pousse la coque à l'une des rives, surtout quand il s'agit de bateaux marins dont la mâture et les agrès offrent une grande prise à son action. Pour éviter

d'aller s'échouer à cette rive, le bateau laisse traîner son ancre sur lefond, et maintient la chaîne qui la retient à une inclinaison suffisante pour que la patte de l'ancre laboure simplement le lit, au lieu de s'y fixer. Il n'y a pas arrêt, mais simplement ralentissement, et la différence de vitesse entre le courant et la coque permet au bateau de gouverner; il se place alors légèrement en travers, de façon que la composante du courant normale à son flanc le soutienne contre la dérive due au vent, et grâce à cet auxiliaire il peut se maintenir beaucoup plus

longtemps dans la direction du chenal praticable.

Cependant cet effort persistant est si puissant, surtout sur les baleaux légers dont la coque émergée offre plus de prise au vent qu'à l'eau, que généralement le bateau se rapproche loujours, quoi qu'on fasse, de la rive sous le vent. Alors quand il se juge hors de la partie profonde, il relève franchement son ancre, oriente quelques voiles et traverse la rivière au plus près, pour se rapprocher de la rive du vent. Aussitôt qu'il y est, l'ancre retombe au fond, les voiles se carguent et la dérive reprend. Le navire court ainsi de véritables bordées dans la largeur de la rivière, naviguant à la voile quelques instants pour la traverser, et le reste du temps se laissant entraîner par le courant, et se défendant le mieux possible par l'action combinée de l'ancre à la traîne et du gouvernail. La manœuvre est continue, pénible, nécessairement longue; mais elle peut être exécutée par l'équipage avec ses propres forces, et conslitue ainsi une ressource précieuse, en même temps qu'une économie. On remarquera d'ailleurs qu'elle est peu dangereuse, parce que l'ancre demeurant toujours à la traîne il suffit de filer un peu de chaîne pour qu'elle morde et que le bateau se trouve ainsi mouillé. On n'a pas toujours sur la partie maritime des rivières des remorqueurs à sa disposition, et il est prudent en tout cas de s'organiser pour pouvoir s'en passer, Aussi la navigation à la dérive est-elle une des choses avec lesquelles il faut compter, et qu'il était bon de connaître.

### \$ IV

# NAVIGATION A LA VAPEUR

41. Avantages de cette navigation. Ses effets. — L'emploi de la vapeur présente de grands avantages à la navigation et n'a contre lui que la dépense qu'il entraîne. En recourant aux machines, on n'a plus à compter avec la fatigue du moteur, et le parcours journalier ainsi que la vitesse s'en accroissent dans une large mesure. La navigation devieut indépendante du chemin de halage, et la force motrice s'applique dans le sens même du mouvement, ce qui permet aux bateaux de se placer partout dans les meilleures conditions, soit pour chenaler, soit pour éviter les forts courants. En un mot, on a tout le bénéfice d'une puissance considérable mise à sa disposition, et qui peut donner ce que l'on veut exiger d'elle.

Il ne faudrait pourtant pas croire que le temps à consacrer au vovage se modifie à volonté; loin de là. D'abord le passage des écluses est à peu près aussi long pour un bateau à vapeur que pour un autre; en second lieu, il est difficile de permettre nne vitesse plus grande que six à huit kilomètres à l'heure. Sans parler du risque que pourrait faire courir aux autres bateaux, quand ils sont pesamment chargés, l'agitation qui résulte des mouvements tumultueux qui accompagnent la vitesse, il se produit, dans les canaux surtout, des détériorations de berge qui sont une véritable difficulté d'entretien. Un bateau à vapeur, bien lancé dans un canal, refoule les eaux devant lui, d'une part, tandis que d'autre part son propulseur lance en arrière celles sur lesquelles il prend point d'appui. La coque se trouve ainsi placée dans une véritable dépression, entre deux remous; et après son passage l'équilibre se rétablit au moyen d'une onde qui accompagne latéralement la marche du bateau, en attaquant la rive avec d'autant plus d'énergie que son amplitude est plus grande.

Sa hanteur varie d'ailleurs avec la vitesse et avec le rétrécissement imposé à la voie navigable. Elle est surtout dangereuse quand elle se profile en volute sur la berge. Ajoutons que les bateaux sont en général peu jaloux de marcher très vite sur les canaux, en raison de l'effort considérable à réasiser et de la dépense qui y correspond. Entre une vitesse de six kilomètres à l'heure et celle de dix kilomètres, il y a une différence de consommation de combustible hors de proportion avec l'intérêt en jeu, même pour les bateaux qui seraient construits en vue d'une marche rapide.

On utilise la vapeur de deux manières, soit au moyen de propulseurs qui prennent leur point d'appui sur l'eau ellemême, soit au moyen de toueurs qui se halent sur une chaîne immergée. Nous parlerons des uns et des autres, mais d'une manière sommaire; car il s'agit ici d'appareils spéciaux dont la construction et même l'utilisation, quant aux détails, sortent

de notre cadre.

# BATEAUX A PROPULSEUR

42. Bateaux à aubes ou à hélice. — Il y a deux genres de propulseurs, les roues à aubes et les hélices. Les roues à anhes, agissant à la surface, exigent un moindre tirant d'eau, et ne sont pas exposées à des chocs sur les hauts fonds; en revanche, dans la partie maritime des rivières, elles craignent le roulis qui fait varier, d'un bord à l'autre, l'action des pales el oppose ainsi à la machine une résistance qui n'est pas uniforme. L'hélice, au contraire, toujours immergée, toujours en action, est un appareil plus parfait, et qui aujourd'hui est à peu près exclusivement employé à la mer. En matière de navigation intérieure, la question peut se discuter, et la solution dépend surtout de la plus ou moins grande régularité du lil. Sur les rivières à courant libre, où les mouilles et les

hauts fonds se succèdent, les roues sont assurément plus sûres. Sur les rivières canalisées et les canaux, l'hélice reprend d'autant mieux son avantage qu'elle n'est pas encombrante comme les tambours au passage des écluses, et n'oc cupe qu'une place insignifiante sur la longueur du bateaux On a bien essayé de remédier à cet inconvénient des roue = motrices, en les plaçant non plus sur le côté du bateau, mai = à l'arrière; cette disposition est même générale sur les bateaux qui parcourent les canaux; elle n'en est pas moins us désavantage ; et, en somme, dès que le tirant d'eau le permet l'hélice semble devoir être préférée. M. l'Ingénieur en che-Lavoinne rapporte que, dans des expériences faites en Amérique, on a pu constater (Annales de 1877, juillet) que, « taudis que les bateaux à hélice dépassaient toujours les bateaux à roues dans les parties du canal qui avaient conservé leur profondeur normale, ils étaient battus par ceux-ci dans les maigres. » Ajoutons, toutefois, pour être complet, que, dans le cas d'herbes flottantes ou de roseaux, il est bien plus aisé de nettoyer des palettes, que l'on peut amener successivement hors de l'eau, que de dégager une hélice entièrement immergée; dans ce cas particulier, il y a avantage à se servir de

Quel qu'il soit, le propulseur est tantôt appliqué au bateau lui-même, qui est dit alors bateau à vapeur porteur, tantôt à un bateau spécial qui entraîne à sa suite un ou plusieurs autres bateaux suivant sa force, et prend alors le nom de remorqueur.

43. Bateaux porteurs. — Dans les canaux, où les écluses ne peuvent recevoir qu'une seule coque à la fois, l'usage des remorqueurs entraîne de longs retards à chaque éclusée, parce que chaque bateau doit s'écluser successivement et fait ainsi perdre au convoi un temps considérable. Aussi se serton de préférence de porteurs ou de bateaux à la fois porteurs et remorqueurs, qui n'ont derrière eux qu'un ou deux bateaux.

14. Remorqueurs. — Sur les rivières canalisées où les biels sont plus longs, et a fortiort sur les rivières à courant libre, on peut mieux se servir de remorqueurs puissants, consommant moins par force de cheval en traînant à leur mite un convoi de bateaux. Ce procédé est applicable surtout sur les rivières qui, comme la Seine et l'Yonne, ont des écluses assez grandes pour recevoir ensemble le remorqueur et le convoi. Il y a néanmoins, on le conçoit, des inconvémients inhérents à cette solidarité d'une longue file de bateaux; un accident arrivé à l'un d'eux arrête l'ensemble du système. Dus les coudes, la remorque est moins avantageuse; elle nécessite l'action de tous les gouvernails, d'où résulte une perle de force à peu près constante, la ligne droite dans le tracé étant l'exception.

Le remorqueur est aussi d'un emploi assez difficile à la descente, si la rivière est rapide. Il faut nécessairement, pour qu'il puisse gouverner, ainsi que les bateaux qui le suivent, que la marche du convoi soit plus rapide que celle du courant; et, alors, si le bateau de tête est forcé de s'arrêter ou de ralentir, les avaries peuvent devenir graves en ce que les autres bateaux peuvent être jetés les uns sur les autres, ou sur l'obstacle qui avait causé l'arrêt. En réalité, à mesure que le réseau se développe et s'unific, peut-être en raison même de ce fait qui augmente l'influence des canaux en permettant de plus longs parcours sans rompre charge, il semble que les

porteurs se multiplient et prennent l'avantage.

Sur certains trajets locaux, dans la traversée de Paris par exemple, où la vitesse de l'eau est faible, où les déplacements sont nombreux et nécessitent l'emploi éventuel d'une force auxiliaire, les remorqueurs ont au contraire leur place bien marquée. Aussi y prospèrent-ils et s'y développent-ils beaucoup.

45. Grapins du Rhône. — Citons enfin comme remorqueurs spéciaux les grapins du Rhône, qui, sur les hauts-fonds où sont d'habitude les rapides, prennent leur point d'appui non sur l'eau, mais sur le lit. Ce sont de grands vapeurs munis de roues latérales comme les autres bateaux du Rhône, mais ayant en plus, sur l'axe, une forte roue plongean armée de dents de fer que la machine met en mouvement qui, en mordant sur les graviers du fond, détermine une tration énergique. Dans les mouilles, le bateau se meut par procédés ordinaires; sur les maigres, on laisse descendre roue plongeante jusqu'à deux ou trois mètres, et c'est elle esert de moteur et remorque un convoi de bateaux. C'est, reste, un système spécial au Rhône, qui ne fonctionne quar les eaux basses et n'a sa raison d'être qu'à cause de violence des courants rencontrés sur les rapides de ce fleu

# § VI

#### TOUAGE

- 46. Principe du touage. Les toueurs, comme puissar mécanique, sont supérieurs aux remorqueurs. Au lieu prendre leur point d'appui sur l'eau qui se dérobe et t ainsi subir un recul relatif, ils s'appuient sur un point fis c'est-à-dire sur une chaîne noyée, disposée dans le che sur toute la longueur du trajet, et sur laquelle leur machi les hale avec tout le convoi qui les suit.
- 47. Symétrie du toueur. Le bateau toueur est syntrique dans tous les sens, a deux gouvernails et peut marc de l'avant comme de l'arrière.
- 48. Longueur de la chaîne. La chaîne immergé 8 0/0 de longueur de plus que le chenal, de manière à prend du mou partout où besoin est. Elle est supportée par le tou en marche, qui la reçoit par l'avant et la file par l'arrière, glissant ainsi sous elle dans toute l'étendue du trajet.
- 49. Tambours à gorge. Le bateau est muni de d poulies folles placées à ses extrémités, et de deux tambo

quelles la chaîne se place pour faire quatre tours du système conjugué, c'est-à-dire enrouler les deux tambours à la fois en ne touchant que la moitié extérieure du périmètre de chacun d'eux. En actionnant les deux tambours à la fois par la machine, la chaîne se tend d'un côté et fournit un point l'appui constant, tandis qu'elle se dépose librement de l'autre.

Ces deux tambours à gorges sont indispensables pour maintenir constamment la chaîne dans la même place, car on sut qu'en s'enroulant sur un treuil unique les tours chevauchent les uns sur les autres, si la chaîne ne se déplace pas latéralement. Quant aux quatres circuits, ils ont pour but de développer sur les tambours un frottement suffisant pour qu'il n'y ait pas de glissement. Ces tambours sont d'ailleurs soit en porte à faux, soit soutenus latéralement par un appui mobile, afin que l'on puisse par le côté, à l'aide d'un mou suffisant, enrouler et dérouler la chaîne, c'est-à-dire la prendre ou la laisser.

50. Poulies extrémes. - Les poulies placées aux deux extrémités ne sont pas dans une position centrale invariable ; elles peuvent décrire un arc de cercle qui les transporte à droite ou à gauche suivant les besoins. Cette disposition est destinée à corriger, dans les courbes, l'appel fait par la chaîne vers la rive convexe. On conçoit en effet que, sur son étendue soulevée, la chaîne se tendant en ligne droite dessine toujours une corde de l'arc décrit par le chenal, et que, par suite, le bateau, s'il obéit, la laisse toujours, lorsqu'il la dépose, un peu plus près du centre qu'il ne l'avait prise. Grace à cette orientation variable qui permet au toueur de suivre une direction un peu oblique à l'appel, le déplacement est diminué, au prix il est vrai d'un peu d'effet utile de la machine ; mais il faut savoir faire un sacrifice, car, ainsi que nous l'avons déjà vu, la traction en courbe est toujours plus difficile. Ajoutons que le remede n'est pas complet, car la remise en place de la chaîne est l'occupation habituelle des toueurs lorsqu'ils descendent à vide.

pour assurer un frottement énergique, et la manœuvre à accomplir pour prendre ou laisser la chaîne est singulièrement facilitée. Ce procédé a été appliqué sur le canal de Bruxelles à Rupel, ou de Willebroeck, et y a réussi.

On avait espéré l'utiliser d'une manière générale sur les canaux, et placer à bord de tous les bateaux qui le demanderaient un petit appareil à vapeur muni de sa roue à empreintes, et susceptible de les transformer ainsi, soit en loueurs porteurs, soit en toueurs remorqueurs. La chaîne aurait été placée par l'État, et aurait fait en quelque sorte partie du canal, tandis que l'appareil à vapeur aurait été loué par un entrepreneur moyennant un tarif déterminé. La grande facilité donnée à la manœuvre de réunion ou de séparation, entre le bateau et la chaîne, avait fait espérer que les croiserments s'effectueraient sans difficulté et que ce mode de louage se généraliserait. Les choses n'ont pas ainsi tourné et il est demeuré à l'état de projet. On ne saurait s'en étonner, l'on réfléchit que la plupart des bateaux qui naviguent sur les canaux sont d'un échantillon très faible, souvent peu So lides, et n'ont pasété construits en vue d'un effort un peu considérable à supporter sur un point donné de la coque. Ora ne place pas impunément une machine et sa chaudière, fussent-elles faibles, avec leur approvisionnement à bord I an bateau plat déjà chargé. Ce changement d'habitudes, s'il vient à se réaliser, exigera sans doute beaucoup de temps et une transformation dans le matériel.

Touage dans les souterrains. — Le touage a été employé avec succès dans les souterrains des canaux, afin de dégager ces passages toujours très difficiles et fréquemment en combrés. On le trouve appliqué au canal Saint-Martin à Paris (avec une roue à empreintes), au canal de Saint-Quentin et au canal de Bourgogne . Les bateaux sont passés par couvois alternatifs dans les deux sens, et les appareils à vapeur sont fumivores. On consultera avec intérêt, sur cette

<sup>1.</sup> On l'a encore appliqué plus récemment sur le canal de la Marne au Rhin, au souterrain de Mauvages.

question spéciale, les mémoires publiés dans les Annales des Ponts et Chaussées par M. Lermoyez en 1863 (2° semestre), et par M. Bazin en 1868 (2° semestre).

Citons encore le fleuve Saint-Laurent au Canada, où le touage est employé pour remonter jusqu'à Montréal des navires de mille cinq cents à trois mille tonneaux, à travers des courants qui atteignent 3 mètres à 3<sup>m</sup>,50 par seconde. Le système est celui que nous avons indiqué plus haut, avec cette différence que la machine est plus puissante, ainsi que la chaîne. Celle-ci fait neuf tours au lieu de quatre sur les tambours. (Annales, mars 1877.)

57. Câbles de touage. — En Belgique on a tenté de substituer aux chaînes des câbles en fil de fer, plus légers et dont on espérait un service plus commode; on semble y avoir renoncé. La légèreté, qui est un avantage à de certains points de vue, est un inconvénient sous d'autres rapports. Dans les courbes, par exemple, il y a intérêt évident à ce que la chaîne soit lourde, afin que la partie qui se soulève à l'avant, sous l'effort du toueur, soit la moins longue possible; car c'est alors que le convoi est le moins entraîné sur la rive convexe. En outre, les câbles sont moins maniables que les chaînes, ils ont besoin de treuils d'une dimension plus considérable, se réparent moins aisément, s'usent plus vite, puisqu'ils présentent à l'oxydation une surface plus grande, en sorte qu'on en est revenu à la chaîne.

Exception doit être faite cependant pour le Rhône, où s'opère un touage local spécial par les soins des entrepreneurs de travaux publics qui ont à transporter de très grandes quantités de moellons d'enrochement. Là, les bateaux vides sont remontés sur quelques kilomètres par des toueurs à vapeur qui, au lieu de déposer par l'arrière le câble sur lequel ils se halent, l'emmagasinent à bord, et ne le laissent ainsi que momentanément dans l'eau, sauf au point fixe qui a été établi en dehors du chenal réservé à la navigation. Pour cette utilisation, on conçoit l'avantage des câbles sur les chaînes; et il ne serait pas impossible, avec une succession de toueurs de ce genre, d'opérer sur un trajet plus long et

de rendre des services au commerce. Des propositions dans ce sens avaient été faites, mais elles ne sont pas encore arrivées à la période d'exécution.

58. Résumé en ce qui concerne le touage. - En résumé, le touage a de grands avantages comme puissance de traction, comme direction dans le chenal, comme utilisation de la force motrice en un mot; il convient d'autant plus d'y avoir recours que cette force motrice doit être plus grande,

c'est-à-dire que le courant est plus rapide.

Malheureusement, les rivières à courant rapide sont ordinairement torrentielles, et amènent pendant leurs crues des dépôts qui font craindre qu'on soit exposé à ne pas pouvoir dégager la chaîne à un moment donné. Cette appréhension est certainement une des causes qui ont empêché la question d'aboutir sur le Rhône. Nous devons ajouter en même temps que des essais tentés au-dessous de Lyon, au confluent de la Saône et du Rhône, pendant les années 1881 et 1882, n'ont pas confirmé ces craintes malgré les longues crues de l'hiver 1882-1883. La question peut donc être ré-

Il y a encore d'autres conditions à remplir :

Si la rivière est canalisée, il faut que les biefs soient longs, pour que la vitesse ne soit pas absorbée par les

Il n'est pas indispensable que les écluses soient assez grandes pour loger tout un convoi; mais cette disposition, qui sur notre réseau est assez rare, est cependant une des conditions les plus utiles à remplir. L'éclusage successif de tous les bateaux est un grand inconvénient.

L'établissement d'un système de touage suppose une mise de fonds assez considérable; et par conséquent une navigation déjà établie, se présentant même dans des conditions

rémunératrices.

Enfin, le groupement en convoi entraîne forcément des retards et des sujétions, que l'on ne fait pas toujours accepter aisément aux bateliers, surtout pour de petits trajets.

En somme, à Paris, où les éléments commerciaux ne

contra prises qui ont recours a ce mode de traction se plagment et les remorqueurs se multiplient considérablement de puis quelques années. Il est juste d'ajouter que les biefs de la Seine canalisée sont presque une eau dormante, en dehors des périodes de crue, de telle sorte que le touage est moins bien placé qu'ailleurs pour tirer parti de sa supériorité comme force.

Nous en concluons qu'on ne peut pas dire d'une manière générale que le touage soit applicable partout. Il est incontestablement avantageux quand certaines conditions sont remplies, mais il peut y avoir bien des cas où son application serait d'un profit contestable.

59. Essais comparatifs faits en Amérique. — Les Américains on! fait des études comparatives sur les divers modes de traction des bateaux. On les trouvera consignées aux Annales dans un mémoire publié par M. Lavoinne, en juillet 1877, et il semble en résulter finalement que si l'on représente par un le prix de traction au moyen du halage par chevaux, le même prix devient 0,74 pour les porteurs et 0,66 pour les toueurs sur chaîne noyée. Malgré cette différence, les difficultés du passage aux écluses et du parcours des courbes font penser que les porteurs se préteraient peutêtre mieux que les toueurs à l'accroissement de la puissance de transport d'un canal comme le canal Erié. Observons, toutefois, que cette proportion ne serait peut-être pas exacte chez nous, où les prix de la main d'œuvre et du combustible ne sont pas dans la même proportion qu'aux États-Unis.

Sur ces diverses matières, on consultera aussi très avantageusement le Cours de navigation intérieure de M. de Lagrené (III° partie).

CO. Système Larmanjat. — Nous terminerons ce qui a trait à la traction des bateaux par quelques mots sur une tentative réalisée sur le canal de Bourgogne, en vertu d'un décret du 18 janvier 1873. Aux termes de ce décret le

sieur Larmanjat était autorisé à établir entre Laroche et Saint-Jean-de-Losne un halage à vapeur analogue à celui qui se fait à bras d'homme ou avec des bêtes de somme. Le moteur devait être une locomobile de quatre tonnes reposant par quatre roues sur le chemin de halage, avec cette disposition particulière que deux de ces roues étaient situées dans le même plan vertical, à l'avant et à l'arrière, sur un rail directeur, tandis que les deux autres, garnies de caoutchouc, se plaçaient comme les roues ordinaires, et, s'appuyant sur le chemin de halage, servaient de roues motrices. Un mécanisme devait permettre de faire porter à volonté le poids du système sur les unes ou sur les autres, de façon à faire varier à volonté l'adhérence et la puissance de remorque.

Une locomotive devait haler un bateau de cent cinquante tonneaux avec une vitesse de huit kilomètres à l'heure pour les bateaux vides, et de cinq kilomètres pour les bateaux à pleine charge. Le transport se faisait par relais, sans croisement, chaque locomotive remettant sa remorque à celle

qu'elle rencontrait, et repartant en sens contraire.

Onelques privilèges de trématage étaient accordés, mais il n'y avait aucun monopole, si ce n'est vis-à-vis d'entreprises qui auraient voulu établir le même système sur le canal de Bourgogne.

Le tarif, assez modéré, représentait pour la coque une somme d'environ soixante-quinze centimes par kilomètre, et 'pour la marchandise de quatre à six millimes par tonne

et par kilomètre, suivant la longueur du trajet.

Les premières expériences semblaient avoir assez bien réussi; les croisements de bateaux s'opéraient sans grandes difficultés. Sauf une certaine gêne aux rampes d'accès de ponts, dont on demandait l'adoucissement, la locomotive pouvait parcourir le canal. Cependant le système en est resté, croyons-nous, à la période d'essai, et ne fonctionne pas d'une manière régulière, que nous sachions au moins.



•

e de la companya de la co

### CHAPITRE III

# DES OPÉRATIONS A FAIRE POUR ÉTUDIER L'AMÉLIORATION DES COURS D'EAU

#### SOMMAIRE:

1 - Nivellements; Levés de plans; Sondages : 61. Nivellements. —
 62. Profils en travers. — 63. Sondages. — 64. Plan. — 65. Profil en long.
 2 - Jaugeages: 66. Jaugeage par déversement. — 67. Flotteurs de superficie.
 63. Flotteurs donnant une vitesse moyenne. — 69. Flotteurs de fond. — 70.
 Moulinet de Woltmann. — 71. Tube de Pitot perfectionné par M. Darcy.

Moulinet de Woltmann. — 74. Tube de Pitot perfectionné par M. Darcy. — 72. Hydrodynamomètre.

3. — Observation des hauteurs d'eau : 73. Échelles hydrométriques. — 74. Marégraphe. — 75. Courbes des hauteurs. — 76. Courbes des débits.

5. — Annonce des crues : 77. Intérêt qui s'y rattache. — 78. Rappel de la formation des crues. — 79. Impossibilité de les prévoir d'après la pluie tombée. — 80. Méthode suivie dans le bassin de la Seine. — 81. Méthode suivie dans le bassin de la Meuse. — 83. Utilité de faire entrer l'élément temps dans les calculs. — 84. Prévision des perturbations atmosphériques. — 85. Distribution des pluies. — 86. Écoulement des eaux de pluie.

# Figure:

Le Moulinet de Woltmann, art. 70.

# § Ior

#### NIVELLEMENTS. LEVÉS DE PLANS, SONDAGES.

61. Nivellements. - Les travaux à faire en vue d'étudier l'amélioration d'une navigation fluviale consistent d'abord en études sur le terrain qui comportent des nivellements, un levé de plan, et des profils en travers ou sondages.

Avant de procéder au nivellement, qui est l'opération la plus importante, en raison de l'influence prédominante de la



### 56 CHAP. III. ÉTUDE DE L'AMÉLIORATION DES COURS D'EAU

pente sur le régime des cours d'eau, il convient de se donner une base d'opérations sûre et durable, à laquelle on puisse toujours recourir. A cet effet, on trace dans la vallée, sur la rive la plus accessible, la plus découverte, en suivant le mieux possible les sinuosités du cours d'eau, une ligne de base que jalonnent des points fixes, aisés à voir et à reconnaître.

Dans le voisinage de cette base, on cherche une succession de repères solides, inébranlables si faire se peut, et on y rattache les points saillants de la ligne d'opération par des nivellements vérifiés avec soin. Il ne faut pas hésiter, quand ces repères n'inspirent pas une sécurité absolue, à établir un massif en maçonnerie, surmonté d'une pierre de taille dans laquelle est scellé le repère:

62. Profils en travers. — De distance en distance, sur la ligne de base, on jette des profils en travers, autant que possible perpendiculaires au courant de la rivière, et on les prolonge au delà de la limite des submersions. Un nouveau nivellement permet de rapporter au niveau de la mer toutes les cotes de terrain solide qui sont rencontrées et l'on a ainsi une coupe de la vallée, le cours d'eau lui-même excepté.

63. Sondages. — Le profil en travers du lit s'obtient par des sondages, qui donnent les ordonnées entre le niveau de l'eau et le fond, tandis que les abscisses sont fournies par un cordeau métallique gradué que l'on tend d'une rive à l'autre, quand le courant n'est pas trop fort, la largeur trop grande, et la navigation trop active 1.

Sur les rivières torrentielles, on n'a pas cette ressource, et l'on est obligé de traverser obliquement le lit en faisant des sondages qui ne sont plus perpendiculaires à la rive. La dérive s'estime alors par des observations faites de la rive en visant le bateau qui opère, de telle sorte que l'on obtient, non

٠. . . .

<sup>1.</sup> Pour les petits cours d'eau, voir l'emploi de l'anneau par M. le conducteur Bakowski. (Cours pratique de construction, de M. Prudhomme.)

un profil en travers proprement dit, mais une coupe suivant une ligne brisée, à l'aide de laquelle le lit peut néanmoins se définir.

Dans ce cas, il est certain que l'opération manque de précision; on peut même en dire autant, quoiqu'à un degré moindre, du cas où un cordeau peut être tendu d'une rive à l'autre; mais il convient de remarquer qu'une approximation est ici suffisante. Le lit d'une rivière n'est pas une chose si fixe que l'on puisse donner aux bateaux un tirant d'eau très voisin de la profondeur, et leur faire suivré le thalweg sans s'en écarter. Il faut avoir de la marge, et une erreur locale de quelques centimètres est sans inconvénient, pourvu qu'elle ne se report pas. C'est pour cela que la ligne de base, ainsi que le terrain jusqu'à la berge, doivent être soigneusement nivelés, l'a peu près n'existant que pour les sondages, dans les limites de chaque profil.

64. Plan. — En rapportant les profils en travers sur le plan de base, le plan de la rivière se trouve déterminé. On y fait figurer les berges, les accidents du sol et les cotes de sondage à l'aide desquelles on trace le chenal. Celui-ci pour nous n'est pas le thalweg, c'est un canal de vingt-cinq à trente mètres dans les alignements droits, de trente à quarante mètres dans les courbes, sur l'étendue duquel un bateau doit toujours trouver le mouillage qui lui est annoncé, car c'est là le but à atteindre par l'un des procédés dont nous parlerons plus loin.

65. Profil en long. — Dans le même plan coté se trouvent les éléments du profil en long sur lequel s'étudiera aussi l'amélioration, et qu'on doit faire ressortir en lignes de couleurs différentes.

Le thalweg, avec mention des parties où l'on ne trouve pas un chenal suffisant, en attribuant au mot chenal l'acception que nous lui avons donnée tout à l'heure.

Les berges, sur l'une et l'autre rive, avec indication des ponts, aqueducs, égouts et autres ouvrages susceptibles d'être influencés par des changements du plan d'eau.



## 58 CHAP. III. ÉTUDE DE L'AMÉLIORATION DES COURS D'EAU

Enfin le niveau de l'étiage, des plus grandes crues, et des plus hautes eaux de navigation.

Toutes ces opérations sont analogues à celles qu'exige chaque jour l'étude des projets, sauf en ce qui concerne le niveau des eaux. Il y a là une difficulté tenant à ce que l'état du cours d'eau éprouve des variations d'un jour à l'autre et quelquefois dans la même journée; pour tenir compte de ces changements, il faut faire en même temps que les opérations, et à peu de distance, une suite non interrompue d'observations de hauteur d'eau que l'on rapporte sous forme d'ordonnées, dans une courbe dont le temps forme l'abscisse. On voit alors la manière dont le cours d'eau a varié, du commencement à la fin des études, et il devient possible de rectifier les déductions à tirer des observations faites.

## § II

## **JAUGEAGES**

66. Jaugeage par déversement. — Le jaugeage des petits cours d'eau peut se faire d'une manière assez sûre en concentrant le débit sur un déversoir de longueur donnée, et en mesurant la hauteur de la lame déversante. On a ainsi les moyens d'utiliser une formule dont la valeur n'a jamais été contestée. Il faut toutefois, pour que l'on puisse recourir à ce procédé, que le sol de la vallée soit à peu près imperméable. On sait, en effet, que le volume qui passe dans un lit creusé au milieu d'alluvions perméables n'est que la partie apparente des eaux qui cheminent vers la mer. En relevant le niveau sur un point, pour construire un déversoir dans un semblable terrain, on augmente le débit invisible, aux dépens du débit visible, et l'opération donne forcément alors une valeur trop faible.

Quand le cours d'eau est trop considérable, ou dans des conditions rendant le procédé irréalisable, le jaugeage s'opère en recherchant la vitesse, et en l'appliquant à la section mouillée constatée par un profil.

La vitesse se constate par divers moyens. On peut se servir de flotteurs ou d'instruments spéciaux.

67. Flotteurs de superficie. — Les flotteurs les plus faciles à employer et à observer sont les flotteurs de superficie, qui donnent la vitesse à la surface. C'est un bouchon de liè ge lesté d'un clou; une bouteille à demi-pleine, quoi que ce soit en un mot, pourvu que ce corps flottant soit immergé d'une manière à peu près complète, et ne laisse passer au-dessus du niveau des eaux que la quantité de matière strictement nécessaire pour que l'œil en suive la marche. On constate le passage successif du flotteur par deux lignes déterminées, comprenant entre elles un espace connu, et la vitesse se déduit du temps employé à franchir cette distance. L'élément d'erreur le plus fréquent est dû à l'action du vent qui tantôt accélère, tantôt retarde la marche; et c'est pour l'éviter qu'il convient que le flotteur émerge le moins possible.

La vitesse à la surface connue, on en déduit la vitesse moyenne au moyen de la relation donnée par M. de Prony, laquelle fait de la seconde les 80/100 de la première. Sans doute, cette proportion n'est pas constante pour tous les cours d'eau quel que soit le rapport du périmètre mouillé à la section, mais en l'adoptant on a un résultat approximatif, et, ainsi qu'on le verra, en matière de jaugeage on est obligé le plus souvent de se contenter d'approximations.

68. Flotteurs donnant une vitesse moyenne. — Quand le cours d'eau a une section régulière un peu profonde, deux mètres par exemple, on peut se procurer la vitesse moyenne par une observation directe, en prenant pour flotteur un objet qui en occupe presque toute la hauteur, un fagot par exemple lesté par une pierre, et dépassant à peine la surface de l'eau. Ce corps solide, poussé par les filets liquides avec une intensité variable, prend une vitesse moyenne égale à celle de la tranche dans laquelle il se meut, et en répétant l'expérience en

divers points de la même section, on a les vitesses moyennes à appliquer à chaque tranche. Plus, d'ailleurs, le flotteur est immergé et plus l'action du vent est dominée par celle du courant.

On observera toutefois que le résultat obtenu est un peu trop fort, en raison de ce que l'on est forcé de donner au flotteur une longueur moindre que le minimum de profondeur de la tranche liquide qu'il représente.

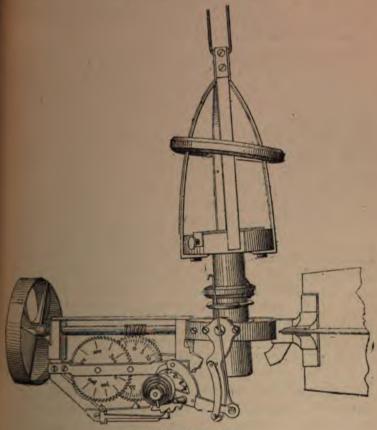
69. Flotteurs de fond. - Enfin, dans les grandes profondeurs, on se sert d'objets lourds, suspendus à un flotteur de surface qui les supporte et reçoit d'eux son mouvement de translation. On observe ce mouvement de la rive, soit directement, soit au moyen de théodolites s'il s'agit d'un grand fleuve, et on a ainsi une vitesse à appliquer à chaque point de la section transversale, suivant ses coordonnées. Cet objet lourd poussé par le courant peut être une masse de fonte évidée de façon à présenter au courant une section constante, ou un baril lesté ou un autre objet, dans les mêmes conditions. Il faut reconnaître toutefois que les observations ainsi faites ont grande chance d'être entachées d'inexactitude. Le système des deux corps prend, en effet, non la vitesse du courant inférieur, mais une vitesse moyenne entre celle du poids supporté et celle du flotteur qui le soutient, modifiée encore par l'action du courant sur l'attache qui les relie. Il doit arriver même, dans les grandes sections et les fortes vitesses, que le courant supérieur n'ayant pas la même direction, le lien ne soit plus vertical et fasse ressortir la vitesse d'un point qui n'est pas celui que l'on croit observer.

Si pour éviter cet effet, on prend pour poids un objet d'une grande densité, il faut augmenter le volume du flotteur supérieur, c'est-à-dire faire prédominer l'action du courant de surface ; si, au contraire, on se contente d'un corps d'une densité voisine de l'eau, les déplacements dans le sens vertical deviennent constants, et l'incertitude que nous signalions tout à l'heure plus redoutable. Il faut donc recounaître que l'étude des vitesses par flotteurs, surtout dans

les très grands cours d'eau, est à l'état rudimentaire.

On a recours encore, pour mesurer les vitesses, à des enrins spéciaux dont nous allons dire quelques mots.

70. Moulinet de Woltmann. — Le moulinet de Woltmann se compose d'une petite turbine de 0<sup>m</sup>,08 à 0<sup>m</sup>,10 de dismètre, mobile avec son axe sous l'action du courant, et



Moulinet de Woltmann.

qu'une girouette placée à l'arrière oriente sans cesse normalement à ce courant. La rotation est, on le conçoit, d'autant plus active que la vitesse de l'eau est plus grande. Le nombre de tours fait dans un temps donné se constate au moyen d'un compteur, que met en jeu une vis sans fin placée sur l'axe de la turbine. Un système spécial permet d'enclancher ou de déclancher l'engrenage instantanément, de telle sorte qu'il est aisé, une fois l'instrument en place et mis en mouvement régulier, d'effectuer la constatation numérique dont on a besoin. Le moulinet est d'ailleurs maintenu en position par une tige de fer verticale le long de laquelle il peut glisser quand on le juge utile, afin de permettre une suite d'observations à des profondeurs diverses sur le même point.

Reste à tarer le moulinet, c'est-à-dire à apprécier pour chaque instrument en particulier la vitesse qui correspond à un nombre de tours donné. On y arrive par une expérience en sens inverse, c'est-à-dire en promenant le moulinet dans une eau dormante avec une vitesse connue, et en constatant le nombre de tours correspondant à cette vitesse. Il convient de prendre toutes les précautions utiles pour que rien n'altère la similitude de ces opérations réciproques: ainsi le moulinet sera placé en avant du bateau. à un niveau inférieur à celui de la sole; on ira à la même vitesse dans deux sens opposés et on prendra la moyenne; on veillera à ce que le bateau n'ait pas de déplacements latéraux dans sa marche; en un mot, on s'efforcera de placer l'instrument dans des conditions analogues à celles qu'il rencontre dans la rivière. Le résultat pourra être voisin de la vérité, au moins d'après les expériences répétées qui ont été faites sur la Garonne par M. Baumgarten. (Voir Annales de 1847, 2º semestre.)

Les vitesses en fonction du nombre de tours sont données par une formule qui a été discutée par MM. Laterrade (Annales de 1858, 1° semestre) et Léveillé (Annales de 1860, 1° semestre), mais qui demeure toujours subordonnée à la détermination expérimentale, dans chaque cas, de coefficients numériques, de telle sorte qu'en somme c'est l'expérience qui fournit la relation. Comme, d'ailleurs, l'état des surfaces doit faire varier ces coefficients, nous estimons que le tarage d'un moulinet doit se faire à nouveau toutes les fois qu'une circonstance quelconque, long repos ou travail prolongé, a pu modifier les conditions initiales de fonctionnement.

Malgré toutes ces précautions, il nous paraît difficile de compler sur une grande exactitude. Suspendu à une tige de fer qui ballotte dans le courant quand elle est un peu longue, l'instrument éprouve, de ce chef, des déplacements laléraux qui n'existent pas lorsque cette tige est courte. En outre, l'écoulement ne se fait jamais par filets parallèles; il y a sur chaque point une série d'oscillations qui montrent qu'en direction comme en intensité les courants éprouvent une succession de perturbations locales, qui réagissent sur l'appareil; enfin, on conçoit aisément que la moindre herbe sottante, le moindre corps étranger qui passe, puisse vicier le résultat enregistré sur le compteur sans qu'on ait pu s'apercevoir de cet incident. Par toutes ces raisons, il est convenable de répéter souvent l'expérience et de prendre une moyenne, non pas de tous les résultats obtenus, mais de ceux qui resteront après que l'on aura écarté les anomalies.

M. Harlacher, professeur à l'École polytechnique de Prague, et chef des travaux hygrométriques de la Bohème, a apporté de nombreux perfectionnements au moulinet de Woltmann. Grâce à l'électricité et à un mouvement d'horlogerie, il a pu donner à l'instrument une marche régulière sur sa tige et enregistrer ses indications à mesure qu'elles se produisent. Avec ces données, on peut ainsi apprécier rapidement la vitesse moyenne et le débit d'un fleuve à un moment donné. Nous ne pourrions pas, sans sortir de notre cadre, entrer dans le détail des procédés ingénieux auxquels a eu recours M. Harlacher; mais nous renvoyons soit à l'ouvrage publié par lui-même en allemand, soit à une notice de M. de Lagrené, insérée aux Annales des Ponts et Chaussées en mars 1883.

Pitot avait eu l'idée, dans le milieu du siècle dernier, de mesurer la vitesse de l'eau par la hauteur à laquelle elle fait équilibre. Pour reconnaître cette hauteur, il immergeait à diverses profondeurs deux tubes en verre montés sur une même tringle. L'un de ces tubes étaithorizontalement recourbé

à son extrémité inférieure et était enfilé par le courant ; l'autre, au contraîre, descendait verticalement jusqu'au niveau de la partie recourbée du premier. La différence de niveau dans les deux tubes devait donner, d'après Pitot, au moyen de la formule  $V^z = 2 \ gh$ , la valeur de la vitesse.

Il y avait une erreur dans cette conjecture, d'après M. Darcy, car la vitesse de l'eau courante exerce sur l'orifice du second tube une sorte de succion qui ne laisse pas le niveau s'établir entre ce tube et la rivière, mais il n'y en a pas moins un rapport constant entre la hauteur théorique  $\frac{V^*}{2g}$  et les différences constatées entre les deux colonnes montantes observées dans les tubes. On peut donc construire un appareil de ce genre et le tarer par l'observation, comme on tarait tout à l'heure le moulinet de Woltmann. Les indications auront alors la même précision et seront affranchies des erreurs qui peuvent naître des frottements.

Pour rendre pratique l'utilisation de cet appareil, M. Darcy l'a perfectionné, ainsi qu'en rend compte une notice publiée par lui dans les Annales de 1858 (1er semestre). Il a juxtaposé sur une planche mince deux tubes en verre, coudés horizontalement à leur partie inférieure, dont les extrémités à orifices très petits (1mm,5 de diamètre) sont à angle droit l'une sur l'autre. Cette planche occupe successivement diverses positions sur une tige verticale et s'oriente par un gouvernail, comme le fait le moulinet de Woltmann.

Deux robinets placés l'un en haut, l'autre en bas, manœuvrés du haut au moyen de cordons, permettent de fermer à un moment donné la communication entre l'appareil et le cours d'eau, et de constater ainsi la différence de niveau existant entre les deux tubes en chaque point d'observation. On peut même, pour les constatations de vitesse à la surface, rendre les résultats plus facilement appréciables en aspirant un peu l'air des tubes, de façon à y faire remonter le niveau de l'eau en dehors des garnitures. L'instrument fonctionne donc aussi bien dans l'air dilaté que dans l'air comprimé : « Il est évident, dit M. Darcy, que dans les deux cas les différences de niveau

entre les deux tubes sont les mêmes que si l'on opérait sous l'influence de la pression atmosphérique. »

Cet instrument a rendu de grands services, mais on ne peut se dispenser de reconnaître qu'il présente comme le moulinet des inconvénients sérieux, et il est certain qu'il faut beaucoup de soins pour écarter les chances d'erreurs.

22. Hydrodynamomètre. — On trouvera, dans les Annales de mai 1877 et de janvier 1880, deux notices de M. l'ingénieur en chef Gros de Perrodil, donnant la description et le mode de tarage d'un nouvel instrument qui mesure la vitesse par la torsion d'un ressort. Cet appareil n'ayant pas encore recu la sanction de la pratique, et n'ayant donné lieu qu'à des expériences de laboratoire, nous nous bornerons à le menfionner.

En résumé, il est aisé de constater, par tout ce que nous venons de dire, combien le problème de la mesure des vitesses dans un courant est demeuré incertain, surtout quand il s'agit de grands cours d'eau. On est complètement dans la région des hypothèses, et l'on consultera avec intérêt, à ce sujet, im mémoire publié par M. l'ingénieur en chef Bazin, dans les Annales de septembre 1875. Il est bien à désirer que la question s'élucide.

# § III

## OBSERVATION DES HAUTEURS D'EAU

Rehelles hydrométriques. — Un des éléments les plus importants de l'étude des cours d'eau est l'observation de leur hauteur. Cette observation se fait au moyen d'échelles graduées, placées de distance en distance, et notamment à tous les changements de régime. Elles doivent être établies sur des points de facile accès le jour et la nuit, à l'abri des chocs et des mouvements tumultueux de l'eau qui, trop

## 66 CHAP, III, ÉTUDE DE L'AMÉLIORATION DES COURS D'EAU

souvent, gênent les constatations. Inutile d'ajouter que la graduation ne saurait être trop lisible, si l'on veut éviter les erreurs.

Les observations sont, en temps régulier, simplement quotidiennes. Pendant les crues ordinaires, on en fait trois par jour, et pendant les grandes crues on va jusqu'à une observation par heure sur les rivières torrentielles. Sans méconnaître l'utilité de ces observations répétées, à titreexceptionnel, nous estimons qu'il faut y avoir recours le moins possible en temps normal, parce que la première qua lité des données recueillies doit être l'exactitude, et l'exp rience montre qu'une trop grande fréquence nuit à l'attentio des surveillants. Dans le même ordre d'idées nous somme es très peu partisan des observations de nuit qui, l'hiver surtoue ut, sont pénibles, dangereuses même et dont la sincérité per ut parfois être contestée. Or, pour celui qui a à apprécier empiriquement un ensemble de faits, une cote inexacte entrair me de graves mécomptes, et il y a toujours lieu de préférer petit nombre d'observations sures à des données plus no breuses mais incertaines. Cette critique prend surtout de valeur au moment où les habitudes de vigilance du débu se sont modifiées, à la suite d'un repos plus ou moins lon 🚐 et de changements dans le personnel; nous pensons, en som que les heures à préférer pour les cours d'eau à crues hi nales sont huit heures du matin, midi et quatre heures soir, afin d'éviter la nuit en toute saison.

■mla

du

de

er,

Tui

Le zéro des échelles se place d'habitude au niveau l'étiage sur les rivières; toutefois, si l'étiage vient à var-i il serait imprudent de déplacer l'échelle parce que l'on gêr rait la comparaison des cotes entre elles, comparaison est peut-être l'élément le plus utile au point de vue de pratique.

74. Marégraphe. — Là où les observations ont une importance exceptionnelle, on place un marégraphe, c'est-à-dire un slotteur qui met en mouvement un crayon et enregistre les hauteurs sur un cylindre qu'un mouvement d'horlogerie déplace d'une manière continue dans le sens de son axe.

Avec un appareil de ce genre, il y a peu d'erreurs à craindre; mais son prix élevé met obstacle à ce que l'emploi s'en généralise.

75. Courbe des hauteurs. — Avec les hauteurs recueillies, on dresse pour chaque échelle une courbe dans laquelle les temps figurent comme abscisses, et les hauteurs comme ordonnées; et la comparaison entre les courbes afférentes à des points déterminés donne la marche de la crue en temps et en intensité. On a soin, suivant les circonstances locales, de faire un choix d'échelles de proportion qui permette d'embrasser toute la crue d'un seul coup d'œil, et de ne pas confondre le phénomène général avec quelques incidents locaux. Un centimètre par jour, un centimètre par mètre suffisent pour les cours d'eau tranquilles. Pour les cours d'eau Lorrentiels, cinq centimères par jour sont préférables, mais il est rarement nécessaire d'agrandir beaucoup l'échelle des hau-Leurs, si l'on veut obtenir un dessin d'ensemble sur lequel La forme générale se perçoive mieux que les oscillations. Des-Linés à une induction empirique, ces documents veulent être Facilement saisis, et c'est en raison de cette nécessité que mous insistons sur ces détails.

Tourbe des débits. — Lorsqu'aux observations de hauteurs ont pu se joindre des observations de vitesse, on apprécie le débit du cours d'eau pour une hauteur donnée, et il devient possible de tracer une courbe dans laquelle les hauteurs d'eau sont les abscisses, et les débits les ordonnées. Une interpolation fournit les résultats intermédiaires et l'on peut ainsi se faire une idée du volume roulé à un instant donné par la rivière. Il faut observer toutefois ici que le débit ne dépend pas uniquement de la section, mais aussi de la pente; or, cette dernière varie beaucoup du début de la crue à la fin, et d'un point à un autre suivant le jeu des affluents, de telle sorte qu'on ne doit voir dans la courbe des débits qu'une approximation assez large, comme du reste tout ce qui se pratique en matière de jaugeage des rivières.

## \$ IV

## ANNONCE DES CRUES

77. Intérêt qui se rattache à la prévision des erues. — Ce n'est pas seulement à l'étude préliminaire du régime des cours d'eau que servent les observations dont nous venons de parler; elles ont encore une utilité pratique de chaque jour en permettant de prévoir et d'annoncer à l'avance, dans une certaine mesure, les crues qui se produisent à la suite des pluies. On conçoit facilement l'intérêt qui s'attache à cesprévisions.

C'est d'abord la navigation elle-même qui peut profiterd'une crue pour franchir un passage difficile, organiser som mode de halage en vue du courant qui résultera de la crue\_ adapter en un mot aux circonstances du moment les dispositions les plus avantageuses ou les moins nuisibles; ce son a ensuite les riverains qui sont mis à même d'éviter les pertess qui se rattachent à un débordement; c'est enfin l'administration elle-même qui, dans les travaux qu'elle exécute, a besoin d'être prévenue à l'avance des variations de niveau susceptibles d'entraver ses chantiers. Il est inutile du reste d'insister, croyons-nous, sur les services que peut rendre un bon système de prévision des crues.

Le problème, malheureusement, est très ardu en raison du mode de formation et de propagation des crues.

78. Rappel de la manière dont se forment les crues.

— Nous avons déjà exposé comment les eaux pluviales alimentent les cours d'eau. Une partie de la pluie pénètre dans le sol en quantité plus ou moins grande suivant que ce sol est plus ou moins perméable; et, obéissant aux lois de l'écoulement à travers ce vaste filtre, sort par les points les plus bas sous forme de sources pérennes pour livrer aux cours d'eau avec lenteur et mesure ce qu'on peut appeler leur alimentation permanente.

Le reste de l'eau tombée s'écoule au contraire sur le sol et roule jusqu'au thalweg, où par cela même se produit une intumescence qui est la crue; cette intumescence arrive vite et disparaît parfois presque aussi vite, lorsque la vallée sur le sol de laquelle elle est née n'est pas susceptible d'absorber la pluie.

Il suit de là que les terrains imperméables donnent naissance à des crues courtes et hautes, tandis que les terrains essentiellement perméables se bornent à maintenir pendant un espace de temps beaucoup plus long, et à un niveau moyennement élevé, le cours d'eau qui les traverse.

Lorsqu'une vallée renferme, et c'est le cas général, des terrains perméables et des terrains imperméables, le problème devient plus complexe; mais, en vertu de ce que nous venons de dire, il est permis de présumer que ce sont les terrains imperméables qui produisent la crue, tandis que les terrains perméables se bornent à la soutenir, pour employer l'expression de M. Belgrand. C'est donc aux terrains imperméables qu'il faut demander les données destinées à asseoir les prévisions du maximum.

Mais comment interroger les terrains imperméables?

29. Impossibilité de prévoir les crues par la pluie tombée. - Sera-ce par la quantité d'eau tombée, telle que la constatent les pluviomètres? Ce serait assurément le meilleur moyen de gagner du temps, puisqu'on s'adresserait à la cause initiale des crues. Toutefois, on a dù renoncer à l'emploi de cette méthode, au moins dans la plupart des cas, en raison des incertitudes absolues que l'on rencontre lorsqu'on veut se rendre compte de la faculté d'absorption des terrains exposés à la pluie. On conçoit, en effet, que la perméabilité ou l'imperméabilité du sol sont toujours des choses relatives. Tel terrain, très absorbant, se comportera comme un terrain imperméable s'il est saturé; tel autre terrain, imperméable, s'il est couvert de forêts et d'étangs aménagera les eaux à la façon d'un sol légèrement perméable; en somme, de la saison humide à la saison sèche, les hauteurs de crue produites par la chute d'une même quantité d'eau

présentent de tels écarts qu'on n'a pas encore pu utiliser, pour la prévision générale des crues, les chiffres fournis par les udomètres. Nous verrons plus tard, en nous occupant des inondations, qu'il n'est peut-être pas impossible de recourir à ce moyen lorsqu'il s'agit de crues exceptionnelles; mais en ce qui concerne les crues moyennes ou petites (et ce sont heureusement de beaucoup les plus 'nombreuses) il est admis 'jusqu'à présent que la quantité d'eau tombée ne saurait servir de mesure.

De là, nécessité d'attendre que le phénomène se soit dessiné à l'origine des vallées pour en déduire ce qu'il sera plus tard, et avertir les intéressés en profitant de l'avance qu'assure, à notre époque, la rapidité des communications.

SO. Methode suivie dans le bassin de la Seine. -M. Belgrand, dont il faut toujours citer le nom à propos des recherches de ce genre, s'est occupé surtout du bassin de la Seine, et ses prévisions ont eu Paris pour principal objectif. En vertu de la prépondérance à attribuer en ce qui concerne la hauteur de chaque crue aux terrains qui n'absorbent pas l'eau, il a négligé les terrains perméables et s'est borné à envisager, près de leur origine, certains cours d'eau appartenant à des vallées imperméables: l'Yonne à Clamecy, le Cousin à Avallon, l'Armançon à Aisy, la Marne à Chaumont et à Saint-Dizier, la Saux à Sandrupt ou à Vitry-le-Brûlé. l'Aire à Vraincourt et l'Aisne à Sainte-Menehould. Ces cours d'eau sont, à ses yeux, les indicateurs de ce qui se passe dans toute l'étendue imperméable du bassin, en sorte que si l'on compare leurs hauteurs réunies à celle de la Seine à Paris. on peut en déduire une loi empirique rattachant la montée des affluents à celle du cours d'eau qui les résume. M. Belgrand a trouvé que la hauteur de crue à Paris est égale à la hauteur moyenne de la crue des cours d'eau, sur lesquels se font les observations, multipliée par 2. Ce coefficient 2 se réduit à 1,55 lorsque la crue dont on veut prédire le maximum est une crue nouvelle se greffant sur l'ancienne, pendant la décroissance de celle-ci.

Indépendamment de cette prévision spéciale à Paris, le

Service hydrométrique de la Seine, à l'aide des mêmes observations primordiales, annonce les montées probables de chaque affluent. La montée de l'Aisne à Pontavert, près du confluent de la Suippe, est considérée comme devant être égale à la montée de l'Aisne à Sainte-Menehould, augmentée de la moitié de la montée de l'Aire à Vraincourt. La montée de l'Oise à Compiègne (à l'échelle de l'écluse de Venette) se calcule en ajoutant les 0,50 de la montée observée à llirson et les 0,40 de la montée qui se prépare sur l'Aisne à Pontavert, etc.

Les chiffres obtenus sont transmis aux diverses administrations intéressées (plus de cent personnes sont averties), et c'est habituellement de deux à quatre jours avant son arrivée que le maximum est annoncé dans chaque localité. Ce délai varie nécessairement avec la distance qui sépare ces localités de la source, et avec la rapidité des communications postales et télégraphiques qui les rattachent à la capitale.

Sur la Loire, les procédés employés diffèrent un peu, tout en étant également déduits de l'expérience d'une façon empirique. Les prévisions ont eu pour but principal les avertissements à donner aux vals endigués qui s'étendent entre Gien et Nantes, et l'on a choisi comme hauteurs à prévoir celles que doit atteindre le fleuve à Orléans, à Saumur et à Nantes. M. l'inspecteur général Comoy d'abord, M. l'ingénieur en chef Deglaude ensuite, ont tracé les règles à suivre, règles qui sont un véritable calcul de probabilités basé sur les observations antérieures.

Le fleuve, à Orléans, se compose des eaux apportées par la Loire supérieure et l'Allier, dont le confluent se trouve à cent soixante-dix kilomètres environ au-dessus de cette ville. On a cru devoir remonter encore au delà du confluent; et, dans la vallée supérieure, des fonctionnaires désignés suivent la marche de chaque crue; les maxima observés sur la Loire à Digoin, sur l'Allier à Moulins, sont immédiatement transmis par voie télégraphique à l'ingénieur en chef d'Orléans, officiellement chargé de formuler les prévisions. Le maximum futur d'Orléans se déduit du maximum de Digoin multiplié par un coefficient variable avec le rapport qu'ont entre elles les hauteurs maxima de la Loire et de l'Allier pour une même crue. Si, par exemple, la hauteur de l'Allier à Moulins a été comprise entre 0,50 et 0,60 de la hauteur de la Loire à Digoin, le maximum d'Orléans sera égal au maximum de Digoin multiplié par un coefficient compris entre 0,75 et un mètre. Si la cote de l'Allier est à celle de la Loire dans un rapport compris entre 0,80 et 1,10, le coefficient multiplicateur sera compris entre 1,48 et 1,35.

Pour déterminer ce coefficient avec plus de chances d'exactitude, sept tableaux ont été dressés sur ces données fournies par plus de cent crues. Le premier renferme toutes les crues pour lesquelles le rapport des cotes de Moulins et de Digoin a été compris entre 0,45 et 0,30; le second celles où ce rapport a été de 0,31 à 0,40; le troisième celles qui ont varié entre 0,41 et 0,50, et ainsi de suite jusqu'au dernier qui va de 0,81 à 1,10.

Lorsque les maxima de Digoin et de Moulins lui sont connus, l'ingénieur en chef d'Orléans cherche, dans le tableau correspondant au rapport des cotes qui lui ont été transmises, les dix crues qui se rapprochent le plus de celle qui est signalée, et il prend pour coefficient de la hauteur future à Orléans la moyenne des dix coefficients. Les mêmes causes produïsant d'habitude les mêmes effets, on a toute chance de voir se reproduire le même état du cours d'eau, et cette méthode essentiellement empirique donne d'assez bons résultats.

De la hauteur d'Orléans on déduit la hauteur future de Saumur en multipliant la première par un coefficient variable avec le rapport du maximum de la Vienne à Châtellerault au maximum présumé d'Orléans.

Enfin la plus grande hauteur à Nantes s'obtient par une combinaison analogue entre le maximum présumé de Saumur et celui de la Sarthe à Sablé.

82. Méthode suivie sur la Meuse française. — Sur la Meuse, où le système a été organisé par MM, de Mardigny

et Poincaré vers 1858, on s'est trouvé en face de circonstances relativement favorables. Le cours d'eau suit une vallée uniforme, à fond horizontal et à versants sans étendue, n'ayant d'autres affluents que des ruisseaux, à peu de distance de l'origine. Les crues sont alors presque exclusivement formées par la pluie tombée sur les terrains imperméables du lias qui sont placés aux sources de la rivière, et y couvrent un bassin initial notablement plus large que le reste de la vallée. C'est dans ce bassin que se font les premières observations sur la hauteur de la Meuse supérieure et du Mouzon, observations desquelles on déduit, par une méthode expérimentale analogue à celles dont nous avons parlé, la hauteur probable de la Meuse à Neufchâteau. On use de ce premier renseignement pour avertir les communes voisines de Neufchâteau et se donner un premier apercu de ce que pourra être la crue.

Le maximum observé à Neufchâteau est ensuite combiné avec la hauteur d'eau du Vair à Soulosse pour en déduire la hauteur future de la Meuse à Commercy, et cette dernière cote, multipliée par des coefficients constants (puisque l'on ne rencontre plus d'affluents importants) donne ce qui se passera à Saint-Mihiel, Villers, Verdun, etc., jusqu'à la limite du département de la Meuse.

La rédaction des avis appartient exclusivement au service des ponts et chaussées et la transmission s'opère, d'après un programme officiel, par voie télégraphique sur les lignes ouvertes et sur le reste de la vallée par les soins de la gendarmerie et des gardes champètres.

Suivant MM. de Mardigny et Poincaré, une crue dont le maximum à Neufchâteau a été prévu douze heures à l'avance, se trouve annoncée à Commercy au moins deux jours et à Verdun au moins quatre jours à l'avance. Le service rendu est d'autant plus grand que, d'après les mêmes auteurs, les erreurs commises sur les cotes annoncées en 1864 n'ont jamais dépassé 0<sup>m</sup>,10 à 0<sup>m</sup>,15 et le plus souvent n'ont été que de 0<sup>m</sup>,05. Une seule erreur de 0<sup>m</sup>,36 a été commise, et encore aurait-elle pu être évitée.

On est donc en face de résultats déjà acquis, et il n'est pas

# 74 CHAP. III. ÉTUDE DE L'AMÉLIORATION DES COURS D'EAU

douteux que le nombre toujours croissant des expérienc n'amène à resserrer de plus en plus les erreurs qui se cor mettent, et qu'il est dans l'état actuel des choses diffic d'éviter.

83. Utilité de faire entrer dans les calculs de hau teur l'élément « Temps ». — Nous reviendrons sur ce su en parlant des crues exceptionnelles qui produisent les ino dations et qui sont celles dont la prévision est le plus ut et désirable. Dès à présent, toutefois, nous devons appel l'attention sur l'utilité qu'il y aurait à faire entrer en ligne e de compte le mode de propagation dans chaque vallée. No avons vu, en effet, combiner les plus grandes hauteurs deux ou plusieurs affluents pour en déduire le maximu au-dessous du point de jonction, sans se préoccuper asserra peut-être de la concordance qui pourra exister entre l'arriv au confluent commun des flots que représentent ces maxime -Il est évident pourtant que la coıncidence de ces flots do surélever la crue, tandis que leur arrivée successive doit la maintenir plus longue et moins élevée. Nous n'ignorons pas que, dans nos climats, la distribution des pluies obéit à des lois assez constantes, et que, par suite, les crues des affluents ont chance de se reproduire dans un ordre régulier dont la méthode expérimentale tient implicitement compte; mais il n'en est pas moins vrai qu'il y a là une étude qui est d'autant plus importante que la vallée est plus longue.

Si l'on examine ce qui se passe, par exemple, dans la vallée de la Loire, il est certain que l'arrivée des flots de Digoin et de Moulins ne produira pas le même effet, à Orléans, si elle est simultanée ou si elle est successive. La coïncidence du maximum de la Loire avec celui de la Vienne augmentera le maximum de Saumur, tandis qu'un retard ou une avance du flot de la Sarthe peut influer sur la hauteur à Nantes. Il y a, en un mot, à faire entrer l'élément « temps » dans les calculs de prévision des hauteurs pour accroître leur exactitude, et nous devions signaler ce besoin en même

temps que les remarquables résultats déjà obtenus.

Nous reviendrons d'ailleurs avec plus de détails sur la question, au moment où nous étudierons les inondations, qui sont un cas particulier des crues. Toutefois, en terminant ce premier exposé, nous croyons utile de dire quelques mots des recherches qui se poursuivent depuis le commencement du siècle sur toute la surface du globe, et qui lendent à arriver à la prévision du temps. Les ingénieurs ont moralement tenus de prêter leur concours à ceux qui pursuivent la création de cette science météorologique qui fait que naître, et qui leur fournit d'ailleurs les premiers er tissements en matière de crues.

Les mauvais temps continus, ceux qui sont susceptibles in fluer d'une manière sensible sur les cours d'eau, sont le lus souvent le résultat d'une perturbation atmosphérique lont la loi semble s'affirmer chaque jour, et a reçu le nom

le a loi des tempêtes. »

Tourbillons ou Cyclones. Sous l'effet de causes initiales dont l'origine est encore loin d'être précisée, il se forme dans l'atmosphère de vastes tourbillons qui parcourent une trajectoire régulière et promènent sur leur passage une dépression barométrique ayant son maximum à leur centre; dans cette dépression se produit une abondante précipitation d'eau sous forme de pluie et des vents plus ou moins violents, variables avec la portion du tourbillon qui touche chaque région.

Ces cyclones, car c'est là le nom qui leur a été donné, sont animés d'un mouvement de rotation qui est toujours dirigé dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère anstral, et en sens opposé dans notre hémisphère. Leur course, c'est-à-dire la ligne suivie par leur centre, trace une parabole se dirigeant de l'équateur vers les régions tempérées. Cette parabole a constamment son sommet situé à l'ouest; elle est tangente au méridien vers la latitude de 30 degrés dans l'hémisphère boréal, et vers celle de 26 degrés dans l'hémisphère austral, latitudes qui marquent les limites des vents alisés. A mesure qu'il s'éloigne de l'équateur le tourbillou s'élargit, et il finit par disparaître dans les régions du nord.

De ce double monvement résulte une inégalité dans les perturbations produites par chacune des deux moitiés du exclone; là où la vitesse de rotation s'ajoute à la vitesse de translation, on est dans le demi-cercle dangereux; l'autro moitié, dans laquelle on n'a à supporter que la différence des vitesses, a reçu des marins le nom de demi-cercle maniable. Il suit de là que, dans nos climats, la contrée sur laquelle circule la portion sud du tourbillon est plus mena-

cée que celle que parcourt le demi-cercle du nord.

M. Fave a généralisé comme il suit les données recueillies sur ces phénomènes : « Dans les mouvements tournants de notre atmosphère, dit-il, vous trouvez de petits tourbillous passagers de quelques décimètres, des trombes plus durables de 100 à 200 mètres, des tornados de 500 à 2.400 mètres. Au delà, l'œil ne saisit pas bien les formes de la colonne giratoire; on leur donne un autre nom, mais le fond est le même. Plus grands encore, sous des diamètres de trois, quatre, cipq degrés, c'est-à-dire de 300, 400, 500 kilomètres et au delà, i la portent le nom d'ouragans ou de cyclones, mais le mécanisme ne change pas pour cela. Ce sont toujours des mouvemerats giratoires, circulaires, à vitesse croissant vers le centre, n és dans les courants supérieurs aux dépens de leurs inégalités cle vitesse, se propageant vers le bas dans les couches inférieures; malgré leur état de calme, ou indépendamment des vents qui y règnent, exerçant leurs ravages des qu'ils atteignent l'obstacle du sol et suivant dans leur marche les courants supérieurs, en sorte que leurs dévastations dessinent en projection sur le globe terrestre la route de ces courants invisibles. »

Presque tous les faits dont nous venons de parler sont le résultat d'observations recueillies sur la mer ou dans les îles, parce que, là, aucune inégalité ne vient changer la marche du phénomène qui devient, par cela même, plus facile à suivre, Aussi, aujourd'hui, l'Amérique nous prévient-elle par le télégraphe des bourrasques qui, prenant naissance dans l'Océan Atlantique, se dirigent sur l'Europe; elle annonce leur date probable d'arrivée et le point de nos côtes où elles atterriront, elle donne même des indications sur leur intensité probable et ces prévisions se réalisent très fréquemment,

Sur les continents, il n'en est plus de même; le relief du sol détermine des perturbations qui obéissent certainement, elles aussi, à des lois; mais ces lois ne pourront se démêler qu'avec des observations longues et attentives. Le milieu des cyclones, ainsi que nous l'avons dit plus haut, est un centre d'aspiration vers lequel l'air afflue de toutes parts, de telle corte que dans les régions élevées la forme circulaire peut et doit s'établir. Au contraire, à la surface du sol, la rencontre d'une chaîne de montagnes ou d'une vallée modifie la marche de l'air affluent, qui tout en créant des remous à l'aval des obstacles, prend la direction qui lui livre le mieux passage et donne ainsi naissance à des anomalies

qui me sont qu'apparentes.

Les cyclones, d'ailleurs, ne sont pas la seule cause des vents que nous voyons se manifester. De même qu'il y a des cenlres de dépression barométrique où l'air est aspiré, il se forme des centres de pression dans lesquels l'air comprimé lend à se transporter vers les points où les couches atmosphériques sont plus dilatées. On a donné à ces centres de pression le nom d'anticyclones; les mouvements atmosphériques qu'ils déterminent, bien que dirigés souvent dans le même sens que ceux qui sont occasionnés par les cyclones, sont loin d'avoir les mêmes suites. Le sud-est de la France nous offre un exemple frappant de cette variété d'effets. Tout le monde connaît le mistral, ce vent du nord au nord-ouest qui a été classé au nombre des fléaux de la Provence, et qui cependant ne mérite pas toujours ce nom. Lorsque, pendant la saison chaude, il rafraîchit l'atmosphère sans amener de pluie, on ne saurait méconnaître son heureuse influence; quand, au contraire, il se charge d'humidité et glace tout ce qu'il atteint, il est vraiment malfaisant. Or, il est bien prohable que dans le premier cas il est dû à un anticyclone, établi sur le centre de la France et poussant les couches d'air dans la vallée du Rhône, tandis que dans le second il représente une partie du demi-cercle dangereux d'un cyclone, dont la base se déforme sur les cimes froides des Alpes.

Tout cela est bien incertain sans doute, et se tient encore dans la confusion où se trouvent les éléments d'une science qui naît; mais de nombreuses recherches se font partout, des observatoires se créent en France sur divers points du territoire, des cartes de l'atmosphère sont publiées dans la plupart des grandes villes, cartes sur lesquelles la marche des pressions barométriques est indiquée par des courbes dites isobares, et en somme tout le monde est convié à l'observation et à l'étude.

Nous ne sortirons pas de notre ordre d'idées en ajoutant quelques mots relatifs à la manière dont se distribuent les pluies, et s'écoulent les eaux.

85. Distribution des pluies. — Les pluies, dans nosce ptrées, jettent sur le sol une quantité d'eau qui, superposée, le permerait annuellement une couche variant entre 0°,40 et 4°, 36 suivant les localités et les années. A Paris, cette couche est en moyenne de 0°,575¹. En général les pays montagneux reçoivent beaucoup plus d'eau que les pays de plaine.

La hauteur de pluie est constatée par des udomètres et d' habitude le relevé en est fait toutes les vingt-quatre heures. En comparant les données udométiques de divers pays, on trouve des écarts très considérables; mais il est rare que, même en pays de montagnes, la quantité d'eau tombée en vingt-quatre heures dépasse 120 à 130 millimètres. En pays de plaine, le maximum habituel est de 80 ou 100 millimètres, et il descend même au-dessous sur les bords de la mer.

Cependant on a des exemples d'averses beaucoup plus considérables. Lors des grandes pluies qui ont amené les inon-dations de la Garonne en 1875, on a constaté dans la nuit du 22 au 23 juin une chute d'eau de 166 millimètres à Bagnères-de-Rigorre; M. l'ingénieur en chef Michelier estimait que vers Grip et la Seube, c'est-à-dire dans la vallée de Campan, la pluie avait été beaucoup plus intense; à Barèges, dans la matinée du 23, on a recueilli d'après le même ingénieur une bauteur de 230 millimètres.

M. l'ingénieur en chef de Mardiguy rapporte, d'après M. de

I, Delgrand (Annalis de 1865, 2º semestre, page 56).

A Annalis de 1870, 1<sup>th</sup> semestre, page 25th. A Annalis de 1881, 2<sup>th</sup> semestre, page 258.

Montravel, savant météorologiste qui de 1805 à 1827 a observé les pluies à Joyeuse (Ardèche), qu'en 1827 cette localité a reçu 2<sup>m</sup>,193 de pluie dans l'année, dont 0<sup>m</sup>,974 dans le seul mois d'octobre, et 0<sup>m</sup>,792 le 9 de ce mois, dans l'espace de vingt et une heures. Le fait, s'il est exact, est pour nos contrées une véritable anomalie, mais il convient de dire que le elimat des montagnes de l'Ardèche est spécialement pluvieux, puisque le 10 septembre 1857 il est tombé une pluie évaluée à 300 millimètres, et que dans les journées des 14 et 15 octobre de la même année on a constaté aux udomètres 432<sup>mm</sup> à Mézilhac, 467 à Montpezat, et 512 à Antraigues.

Ainsi qu'on le voit, l'intensité des pluies est éminemment variable, et les moyennes annuelles ont peu de signification au point de vue des déhordements des cours d'eau. C'est le maximum seul qu'il faut envisager, et qui cause les inonda-

tions.

Encore, si l'averse se répartissait également dans les vingtquatre heures pendant lesquelles se constatent ces pluies lorrentielles, on pourrait espérer une onde plus longue et moins haute; mais les choses ne se passent pas ainsi et la chute d'eau a, dans la journée même, des intensités fort diverses. L'étude de cette pluie élémentaire est très difficile, on le contoit; elle a cependant été faite à Versailles ' et l'on y a conslaté par minute, comme moyenne d'une durée de pluie de dix à quarante-cinq minutes :

Le 2 août 1866	140	•	*	w			1mm,16
Le 19 août 4866							0mm,78
Le 24 juillet 1872					*	,	0mm,71
Le 9 septembre 1875.							0mm,69
Le 28 juillet 1872							0mm,62

Signalons en particulier la pluie du 9 septembre 1875 qui a duré quarante-cinq minutes, et qui dans dans ces trois quarts d'heure a donné 31 millimètres d'eau. On voit combien cette précipitation est loin de la moyenne d'une journée, et quelle erreur on commettrait si l'on se donnait vingt-quatre heures pour écouler ce qui tombe dans le même laps de temps.

<sup>1.</sup> Annales de 1877. 1er semestre, page 503.

80 CHAP, III. ÉTUDE DE L'AMÉLIORATION DES COURS D'EAU

86. Écoulement des eaux de pluie. — Heureusement la transmission de la pluie qui se déverse au cours d'eau chargé de l'écouler n'est pas immédiate; il se fait dans le ruissellement à la surface du sol, pendant un temps plus ou moins long, une sorte de compensation, grâce à laquelle le volume débité par le cours d'eau qui sert d'émissaire peut subir des oscillations moindres que la pluie. La mesure de cette atténuation est, croyons-nous, inconnue; nous en avons toutefois une limite supérieure extrême dans ce qui se pratique à Paris pour les égouts. Là, le terrain sur lequel tombe la pluie peut être considéré comme tout à fait imperméable et, par les toits, les cours et les rues, l'eau se rend aussi rapidement que possible à l'égout qui doit l'écouler. On est donc, comme nous le disions, à la limite des exigences en matière d'écoulement des eaux pluviales et la règle suivie donne bien un maximun. Cette règle est que l'égout doit débiter le tiers de ce qui tombe par seconde sur le bassin qu'il dessert. Comme on admet dans la Seine pour maximum 125 litres par seconde et par hectare, soit 0mm, 75 comme hauteur de pluie par minute, il s'ensuit que l'égout, à Paris, doit débiter par seconde autant de fois 42 litres qu'il y a d'hectares dans le bassin qu'il assèche. Nous citons cette règle, non pour qu'on en fasse une application à la campagne, mais pour qu'on puisse se faire une idée de ce qui se passe sur un bassin de faible étendue et parfaitement imperméable, tout en enregistrant une pratique utile à connaître.

ļ

THE

AM:

1



# DEUXIÈME PARTIE

# AMÉLIORATION DES RIVIÈRES

A COURANT LIBRE

CHAPITRE QUATRIÈME : AMELIORATION DES RIVIÈRES A COURANT LIBRE PAR VOIE DE DRAGAGE

CHAPITRE CINQUIÈME: AMÉLIORATION PAR RESSERREMENT DU LIT

CHAPITRE SIXIÈME : BARREMENT DES BRAS SECONDAIRES

ET REDRESSEMENT DES COUDES

CHAPITRE SEPTIÈME : AMÉLIORATION DES FLEUVES A LEUR EMBOUCHURE



.

.

٠.

# CHAPITRE IV

# AMÉLIORATION DES RIVIÈRES A COURANT LIBRE PAR VOIE DE DRAGAGE

#### SOMMAIRE:

87. — Obstacles que rencontre la navigation en rivière. — 88. Deux sortes de hauts fonds. — 89. Seuils fixes. — 93. Seuils accidentels. — 94. Seuils renouvelables. — 92. Chasses mobiles et chevalis. — 93. Paniers oscillants. — 94. Vannage de la Somme. — 95. Bac à rateau. — 96. Radeau dragueur. — 97. Appareils américains.

### Figures :

Cuillère labourant les hauts-fonds, art. 97. — Bateaux armés de dents, art. 97.

## Petite planche :

Vannage dragueur du canal de la Somme, art. 91.

\$7. Obstacles que rencontre la navigation en rivière. — Nous nous sommes occupé, dans la première partie, de l'état naturel des cours d'eau, de leur formation, de leurs irrégularités, et des moyens de les étudier ainsi que de les utiliser. Nous passerons actuellement à l'examen des procédés à l'aide desquels on peut améliorer les conditions dans lesquelles ils se présentent à la navigation.

Les transports par rivière ne sont pas sans difficultés. Sans parler du courant, auxiliaire à la descente mais gêne à la remonte, et obstacle par suite à des échanges bien équilibrés, on y trouve deux inconvénients principaux qui agis-



# 84 CHAP. IV. AMÉLIORATION DES RIVIÈRES A COURANT LIBRE

sent sur la circulation, quel que soit son sens. Ce sont le manque de profondeur sur des hauts-fonds espacés de distance en distance, et la sinuosité trop accentuée de certains passages où le bateau ne peut suivre le chenal sans s'exposer a être jeté sur la rive concave par le courant qui s'y porte,

Ces deux inconvénients sont généralement connexes; pour apprécier la valeur des procédés à employer pour y remédier, il faut avoir bien présent à l'esprit le mode de formation des hauts-fonds et des coudes. Nous y reviendrons d'une manière sommaire.

88. Deux sortes de hauts-fonds. — Rappelons qu'il y a deux sortes de hauts-fonds.

On trouve d'abord ceux qui résultent d'une disposition naturelle du lit. Dus à la présence dans le sol de couches dures qui résistent à l'érosion, et forcent le cours d'eau à les franchir en déversoir, ceux-ci sont fixes et ne se déplacent jamais.

Viennent en second lieu les hauts-fonds édifiés par le cours d'eau lui-mème, avec les matériaux qu'il charrie dans son lit. Ces matériaux, tantôt transportés, tantôt déposés suivant l'intensité des forces qui les promènent, constituent de distance en distance des seuils, en des points qui sont généralement les mèmes; mais qui parfois cependant changent de place, sous l'influence des causes incidentes qui se rencontrent à chaque pas.

Le mode de formation de ces seuils a été développé, nous n'y reviendrons pas; nous nous bornerons à rappeler qu'ils sont la conséquence nécessaire du transport intermittent de matières solides, des montagnes à la mer, et des accidents de pente que présente toute vallée. Ils sont par suite inévitables. En les dispersant sur un point, on a chance de les voir se reformer ailleurs; si on les poursuit assez activement pour les rendre plus rares, ceux qui restent n'en sont que plus forts, toutes choses égales d'ailleurs. Néanmoins de 2e que nous venons de dire même, on peut conclure que plus, dans une rivière, les courbes sont roides et les mouilles profondes, plus il y a de chance pour que les hauts-fonds

qui les suivent soient hauts, larges et persistants, parce que le phénomène général s'aggrave d'une perturbation locale. C'est ainsi qu'après une érosion rapide et profonde de la berge, lorsqu'elle se produit, on trouve d'ordinaire un dépôt et un coude à angle droit. L'action locale se place alors en relief, et sert d'appui aux actions générales de transport qui en accentuent ensuite les effets : modérer l'une, c'est donc modérer l'autre ; accroître l'une, c'est souvent développer l'autre.

Ceci posé, examinons les moyens que l'on peut employer pour faire disparaître les hauts-fonds.

SD. Scuils fixes. — La première idée qui se présente à l'esprit pour approfondir un seuil, c'est de le draguer.

Si ce seuil est de ceux dont nous avons parlé en premier lien tout à l'heure, c'est-à-dire s'il est dû à une couche résistante que le courant ne peut attaquer, il n'y a souvent pas grand inconvénient à y ouvrir un chenal à la profondeur nécessaire au moyen de dragages. On doit veiller toute-fois à ce que cet approfondissement n'entraîne pas en amont un abaissement général de niveau susceptible de rendre dangereux le haut-fond immédiatement supérieur. On peut l'éviter par une limitation au strict nécessaire, en largeur et en hauteur, du chenal artificiel, et au besoin par la ferme-ture d'une fraction de la section dans les parties sans profondeur. De cette diminution du périmètre mouillé résultera le plus souvent une accélération dans la vitesse, mais c'est là une question de mesure, où chaque cas particulier est susceptible d'une solution spéciale.

O. Seuils accidentels. — Si les hauts-fonds sont le résultat d'une cause accidentelle, et qui ne se reproduira pas nécessairement, comme par exemple la construction d'un ouvrage mal conçu, qui dirige les eaux sur un point faible, et y produit des érosions que l'on peut combattre, il est évident qu'il suffira de dragages pour ramener l'ordre dans le régime du cours d'eau. Il fandra toutefois en même temps supprimer la cause, afin de prévenir dans la mesure du possible le retour des effets : le mal étant local, un remède local peut suffire.

91. Seuils renouvelables. - Mais quand les seuils sont dus à la marche générale des alluvions vers la mer, il devient certain que les dragages permanents donneront lieu à des dépôts permanents, parce qu'aux mêmes causes répondront les mêmes effets. Si ces dépôts se produisent sur une échelle restreinte, et si une navigation très active le réclame, on conçoit que l'on puisse accepter la lutte, et rendre aussi les dragages permanents; mais ce ne peut être qu'une solution exceptionnelle. Elle est même incomplète, en ce sens que les seuils se formeront tout à coup au moment d'une crue, et que pour rétablir la passe il faudra un délai pendant lequel la navigation demeurera gênée. Enfin, dans cette lutte avec une force d'intensité variable, il y a un danger des plus graves : que l'on dépasse la mesure utile, et que par un dragage trop fort le niveau de la mouille précédente soit abaissé, la vitesse des eaux s'accroîtra sur le rapide placé en amont, de toute l'influence de la chute additionnelle, et les désordres reprendront avec plus d'intensité jusqu'à ce que l'état d'équilibre se soit rétabli, c'est-à-dire jusqu'à renouvellement du haut-fond dragué.

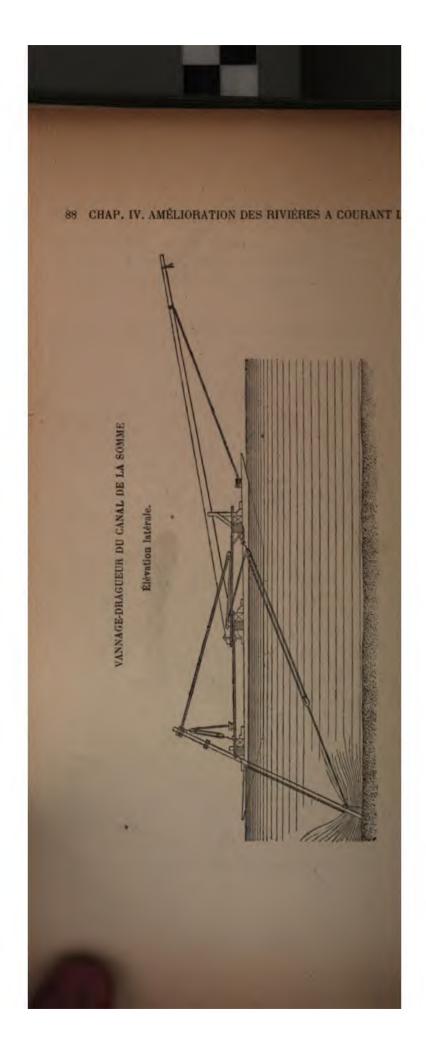
La plus grande prudence est donc nécessaire en fait de dragages, et nous devions signaler cet écueil, afin de prévenir contre l'abus de ce procédé commode, puissant, mais parfois périlleux, de s'ouvrir un passage. Nous renverrons le lecteur, pour l'étude des dragages proprement dits, au volume intitulé Procédés généraux de construction; nous nous bornerons ici à dire quelques mots des appareils spéciaux aux rivières qui ont pour but de déblayer des passes sans enlever les matières, en les dispersant simplement dans le lit.

92. Chasses mobiles et chevalis. — Sur les rivières à fond très mobile, on se sert depuis un temps immémorial d'un procédé qui consiste à mettre au milieu du courant un obstacle qui le barre, force la vitesse à s'accélérer dans le pourtour, et amène ainsi le creusement du lit par l'action même des eaux. Divers ingénieurs, M. Borrel sur la Garonne (voir Annales des Ponts et Chaussées de 1835, 4° semestre), M. Collin sur la Loire, ont essayé de creuser ainsi, par un simple déplacement de matériaux, un passage praticable aux bateaux. Les chasses

mobiles de la Garonne et les chevalis de la Loire sont des mises en œuvre ingénieuses de cette pratique; elles ont abouti i gagner quelques décimètres de profondeur, mais toujours d'une façon absolument précaire.

- 93. Paniers oscillants. Une autre application très simple et très pratique est réalisée dans quelques-uns de nos chenaux du littoral maritime, pour dégager leur thalweg du sable et de la vase qui s'y déposent. On y place, à la suite l'un de l'autre, espacés de trois à cinq mètres, de simples paniers en osier, flottants et mouillés par une corde à une grosse pierre placée sur le chenal à ouvrir. Sous l'impulsion du courant et des vagues, ces paniers montent, descendent, tournent ou roulent, et déterminent par leurs évolutions une petite fouille continue qu'entretient le courant. Les Annales de juin 1873 contiennent une notice de M. l'ingénieur en chef Arnoux, qui donne d'utiles renseignements sur cet économique moyen d'entretenir un chenal.
- 94. Vannage de la Somme. En 1833-1834, pour approfondir le canal de la Somme, M. l'ingénieur en chef Fouache eut recours à l'emploi d'un vannage trapézoïdal barrant le cours d'eau, et armé à sa partie inférieure de dents propres à attaquer le fond. Trois bateaux placés de front soutenaient l'appareil à la hauteur voulue; le canal se gonflait en amont, s'abaissait en aval; et, sous la poussée produite par cette dénivellation, l'appareil marchait en avant, chassant devant lui les matières enlevées au sol jusqu'à la baie de Somme. Il paraît que les déblais ainsi opérés ne coûtaient que 0 fr. 40 par mètre cube '.
- 95. Bac à râteau. Ce vannage de la Somme était la reproduction de l'appareil que, sous le nom de Bac à rateau, M. l'ingénieur en chef Masquelez avait appliqué dès 1811 à l'entretien des canaux creusés dans les vases de l'embouchure de la Charente. C'était aussi un vannage placé à

<sup>1.</sup> Voir le mémoire de M. Cambuzat, Annales de 1852, 1er semestre; et ci-après la figure de la page 88,



l'arrière d'un fort bateau, armé de griffes pour labourer le lond et muni de deux ailes mobiles fermant la section du canal derrière le bateau, afin d'obtenir la dénivellation motrice. Voir les Annales de 1832, 4° semestre, notice de M. Masquelez.

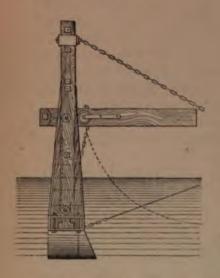
Ce bac à râteau, que nous avons vu fonctionner à de nombreuses reprises, rabote en quelque sorte le plafond du canal et pousse devant lui de véritables copeaux de vase, qui roulent sur une centaine de mètres en avant du bateau, et sont ainsi conduits jusqu'à la mer. Il va sans dire qu'un treuil permet de placer le vannage ou râteau à la hauteur convenable, pour que sa morsure ne soit ni trop ni trop peu profonde.

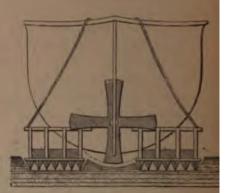
Prix par mètre cube déblayé n'a pu être déterminé, parce l'engin n'a servi qu'à entretenir les canaux et à repousser la mer des quantités de vase demeurées inconnues, en on de l'impossibilité à peu près complète d'en déterminer le me au milieu de l'eau qui la recouvre, dont elle a presque la midité.

- 6. Radeau dragueur. —En 1850 et 1851 M. l'inspecteur éral Cambuzat fit usage, pour élargir un vaste contrefossé canal de la Somme, d'un engin analogue à celui qu'avait et ployé M. Fouache. Il établit le vannage dragueur sur un ra deau qui en rendait la manœuvre plus facile, et y adapta deux ail es latérales pour mieux épouser la forme de la cuvette. De ces dispositions résulta un dragage à raison de cinq centimes par mètre cube. On trouvera les détails dans la notice de M. Cambuzat déjà citée.
  - 97. Appareils américains. Pour terminer cette nomenclature, nous dirons, d'après le journal de mission de M. Malézieux, que sur le haut Mississipi les Américains ont installé des appareils qui oscillent à l'arrière d'un bateau à vapeur, et mettent en mouvement les sables que le courant emporte. Ces engins oscillants se composent, tantôt d'un triangle en charpente portant à sa partie inférieure des sortes de cuillers qui labourent les hauts-fonds, tantôt de rateaux armés de dents.

# 90 CHAP, IV. AMÉLIORATION DES RIVIÈRES A COURANT LIBRE

A l'embouchure du même fleuve, dans les bancs de vase molle et homogène qui constituent son delta, on a également creusé des chenaux à l'aide de bateaux à vapeur dont l'hélice, descendant plus bas que la quille, agite et disperse les vases sur son passage.





Enfin, faisons connaître que cette manière d'opérer était pratiquée sur le Danube lorsque les bouches de ce fleuve étaient soumises à la domination turque. D'après M. Félix Martin (Annales de 1872, 2° semestre), les bateaux qui fréquentaient la bouche de Sulina étaient tenus de traîner de lourds grapins sur le lit; les matériaux désagrégés étaient ensuite entraînés par le courant.

Avons-nous besoin d'ajouter que ces divers procédés, primitifs ou perfectionnés, ne sont en réalité que des expédients et ne sauraient aboutir à des améliorations sérieuses et durables? Assurément il n'y a pas lieu de les négliger quand l'occasion s'en présente, mais il est impossible de leur demander les transformations profondes que réclame la batellerie sur la plupart de nos cours d'eau. Cette conclusion s'applique même aux dragages à la machine, qu'on peut adopter sur quelques passages exceptionnels où de graves intérêts justifient la lutte



PAR VOIE DE DRAGAGE

91

contre des dépôts incessamment renouvelés, mais qui ne sauraient constituer la base d'un système d'augmentation du tirant d'eau, sur une ligne de navigation destinée à faire partie du réseau général.



•

•

Maffer gerind its aftet er fin n. er alen bei n.

•

# CHAPITRE V

# AMÉLIORATION PAR RESSERREMENT DU LIT

#### SOMMAIRE :

 14. — 93. Effet à espérer des resserrements.
 2. — Mode de construction des digues : 99. Conditions que doivent remplir les digues. — 100. Digues en enrochements submersibles. — 101. Digues en bois, gravier et enrochements. — 102. Digues insubmersibles. — 103. Digues en matériaux artificiels.

 3. — Emploi des digues longitudinales : 101. 1dée générale de l'opération. —
 103. Difficulté pratique des resserrements. — 106. Essais sur la Meuse, la Saone et le Rhône.

- Emploi des diques transversales ou épis: 107. Épis de Chouzé. - 108.
 Digues de la Durance.

Système mixte de digues basses, d'épis de faible hauteur et de seuils de 5. — Système mixte de diques basses, d'épis de faible hauteur et de seuils de fond : 109. Applications récentes du système et but à atteindre. — 110. Consiquences de la théorie de ces ouvrages. — 111. Définitions. — 112. Constitution générale des ouvrages. — 113. Leur effet au point de vue de la défense du lit. — 114. Leur effet au point de vue de la navigation. — 115. Leur effet au point de vue des tourbillons à éviter. — 116. Exemple du passage du Revestidou. — 117. Limites dans lesquelles on peut espérer agir. — 118. Conclusions générales.

#### Figures :

Digue de la Moselle, art. 100. - Autre digue de la Moselle, art. 100. - Digues de la Garonne, trois figures : art. 101.

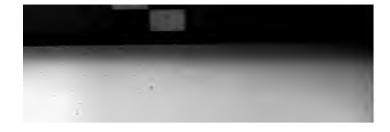
#### Petites planches:

Digues de la Durance, art. 108. - Les épis noyés du passage du Revestidou (Rhône), art. 116.

### S Ier

#### EFFET A ESPÉRER DES RESSERREMENTS

98. - Contre la tendance naturelle aux cours d'eau de se fractionner en mouilles et en maigres, on s'est demandé s'il ne serait pas possible de faire appel à une autre force naturelle du même ordre. Puisque, sur chaque haut-fond, le courant



#### CHAPITRE V. RESSERREMENT DU LIT

94

s'épanouit en lame superficielle, ne suffirait-il pas de le resserrer dans le voisinage du seuil, en lui imprimant une direction convenable, pour qu'il l'écrétât? On obtiendrait ainsi, à la fois, des sinuosités régulières et un accroissemut du tirant d'eau; le nouvel état pourrait, avec de bonnes dispositions initiales et un entretien convenable des ouvrages, se maintenir de lui-même.

Mais comment obtenir ce rétrécissement du lit? Évidemment ce ne peut être que par des digues. Nous examinerons tout à l'heure les divers usages auxquels se sont prêtées ces digues, le parti qu'on en a tiré, et celui qu'on peut espérer en tirer; mais nous devons auparavant dire quelques mots de la manière dont elles sont construites.

### § II

#### MODE DE CONSTRUCTION DES DIGUES

99. Conditions que doivent remplir les digues. — En général les cours d'eau, sur toute leur étendue navigable, présentent les mêmes caractères; du moment où l'on entre dans la voie des resserrements, on doit s'attendre à la poursuivre sur une très grande longueur. Il faut donc que les digues soient peu coûteuses par mètre courant; c'est une première nécessité de leur emploi.

Leur imperméabilité n'est pas une qualité nécessaire. Elles doivent concentrer le courant et le diriger; mais il importe peu qu'elles soient légèrement perméables, pourvu que le faisceau liquide qu'elles contiennent soit prépondérant, et qu'on ne trouve dans l'abri qu'elles créent qu'une eau dormante ou à peu près.

100. Digues en enrochements submersibles. — Dans ces conditions, le procédé qui est le plus fréquemment employé consiste à former la digue d'enrochements à pierre perdue, c'est-à-dire de moellons jetés à l'eau sur le tracé, et y

prenant naturellement le talus qui leur convient. Sur les rivières à fond mobile, les enrochements s'enfouissent; on les recharge, le sol se consolide, et après un temps plus ou moins long suivant la fixité du sol et la vitesse du courant, la stabilité s'acquiert et les talus affectent alors une forme curviligne à large base.

Souvent, pour éviter de grands mouvements, on enracine d'abond la digue dans le lit, en vue de lui donner plus de défense. Par cela même, en effet, que dans une rivière on place un obstacle à l'écoulement des eaux, on doit prévoir une accélération du courant le long de cet obstacle, et un certain entraînement de matières. Or, il vaut mieux s'établir de suite audessous du niveau probable de cet affouillement futur, afin que, lorsqu'il se réalisera, le corps de la digue ne soit pas soumis aux mouvements généraux de tassement, nuisibles à la solidité et pendant lesquels les talus s'exagèrent.

Il convient de choisir des moellons gros, parce que le cube, c'est-à-dire le poids, se développe plus vite que la surface, surface sur laquelle le courant exerce son action. Dans ce même ordre d'idées, il est convenable que les moellons soient denses, surfout en raison de la perte constante de poids qu'entraîne immersion. La stabilité, en effet, est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle, non au poids dans l'air, mais au poids dans l'eau, ce qui change complètement la valeur des rapports.

Pour ménager les moellons on s'est borné souvent à les

on a composé le corps de la digue en gravier. Dans les faibles profondeurs on a laissé au milieu un bourrelet en l'entourant d'enrochements. Dans des profondeurs



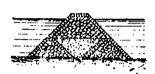
Digue de la Moselle,

un peu plus considérables, on a constitué la digue de quatre parties distinctes: deux bourrelets inférieurs en moellons, une ame en gravier, et sur le tout un massif en pierre. D'habitude le couronnement n'est établi au-dessus du niveau de l'étiage que de 0<sup>m</sup>,20 à 1 mètre, pour permettre aux crues de

96

reprendre leur domaine lorsque besoin est, les eaux ordinaires devant seules être resserrées.

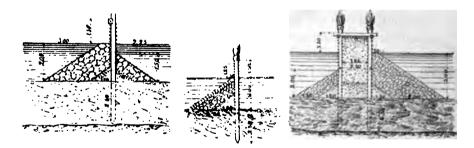
Le couronnement parfois a été fait à la main et a reçu une forme régulière au-dessus de l'étiage, forme destinée à rendre



les moellons solidaires et à éviter les entraînements. Cette solidarité a des avantages, mais il faut reconnaître qu'elle a aussi de graves inconvénients. Si des avaries tendent à se produire et que le corps

de la digue tasse sans que le couronnement soit libre de le suivre, il est évident que le mal s'aggravera d'autant plus qu'il sera moins reconnu et combattu. En général : sur une base qui n'est pas parfaitement stable, un appareil n'est pas à sa place.

101. Digues en bois, gravier et enrochements submersibles. — Quand les moellons sont rares et le bois abondant, on peut avoir recours à une combinaison économique des matériaux dont on dispose. C'est ce qui a été fait sur la Garonne où de nombreuses digues ont été établies à l'aide de parois de pieux et clayons, garnies de gravier à leurs pieds et au besoin dans leurs intervalles, et défendues par des enrochements.



Les diverses digues submersibles dont nous venons de parler peuvent être exposées à des déversements, dont l'effet est surtout à craindre quand leur orientation se rapproche d'une direction normale au courant. On leur donne alors des fondations plus amples, plus solides. Elles sont comprises entre deux files de pieux clayonnés, défendues par des enrochements et armées d'avant et d'arrière-radiers, qui les protègent contre les affouillements et présentent des glacis très doux.

102. Digues insubmersibles. — Au cas où l'on est conduit à se servir de digues insubmersibles, les mêmes procédés peuvent être employés. Toutefois, aucun déversement ne devant s'opérer sur la crête, on n'a plus à craindre l'affouillement du talus intérieur, et il suffit de défendre le parement extérieur. Le corps de la digue peut alors être en gravier ou en terre, car les exigences de la construction ne croissent pas comme sa hauteur. Nous reviendrons du reste sur ce sujet, en parlant des défenses de rive.

vallées sont pauvres en enrochements et renferment au contraire de nombreux bancs de gravier, recouverts d'une végétation abondante de saules ou d'oseraies, qu'il est possible d'utiliser sur place avec quelques frais de mise en œuvre. Le Rhin offre cette disposition, et l'on trouvera dans les Annales de 1833 (1<sup>ex</sup> semestre) des renseignements détaillés sur la manière dont ces matériaux artificiels ont été utilisés par M. Défontaine, alors que ce fleuve était frontière de France.

On construisait sur la rive et l'on immergeait ensuite des paniers tantôt coniques, tantôt cylindriques, parfois triangulaires ou carrés, remplis de gravier, et assujettis les uns aux autres de manière à ne pouvoir rouler sur le fond. Ce blocage formait l'âme de la digue, sur laquelle on jetait ensuite à profusion du gravier et du sable, de façon à combler à peu près les vides de l'entassement, et même à enfouir complètement les matériaux artificiels. Ceux-ci apportaient à la masse de la fixité pendant que les remblais lui donnaient une étanchéité suffisante.

D'autres fois c'étaient de simples fascinages solidement rattachés à la rive et qui s'avançaient en rivière dans la direction du tracé de la digue, toujours fixés aux rangs qui les

7

précédaient, dessinant ainsi une sorte de jetée qu'une charsuffisante de gravier faisait immerger.

Dans les grandes profondeurs, on recourait à des claies que l'on amenait à flot sur place entre des pieux qui leur servaite de glissières verticales, et permettaient de les superposer les coulant successivement les unes sur les autres au moyen d'une charge de gravier. Nous retrouverons ce procédé me is en pratique à l'embouchure du Mississipi.

Il est superflu d'ajouter que ces divers procédés n'avaier rien d'exclusif et se complétaient les uns par les autres, dat les grands ouvrages dont les détails très développés se trouver dans le mémoire cité. On y verra en outre que les matérian artificiels coûtaient environ 6 francs le mètre cube ; que, passe à l'état de tunage, c'est-à-dire avec le remblai de gravier que les entoure, ce prix s'abaissait à 2 francs environ. Le mètre courant des grandes digues du Rhin est revenu à 130 e 150 francs, selon la hauteur de l'ouvrage.

Tel est le mode de construction des digues en rivière sui vant les matériaux dont on dispose. Voyons maintenant de quelle façon il faut établir ces digues pour améliorer la navogation.

## § III

#### EMPLOI DES DIGUES LONGITUDINALES

10.1. Idée générale de l'opération. — La première idée qui se présente quand on cherche à diriger un cours d'eau et à régulariser ses inflexions, c'est de substituer à la rive naturelle, là où elle est attaquée, une rive factice placée en avant de la première et recevant le choc sur une surface plus résistante. On peut espérer par là arrêter l'érosion, et par suite modérer l'exhaussement du haut-fond suivant, qui en est la conséquence. On peut espérer encore que la nouvelle direction imprimée aux eaux, et l'accélération de vitesse qui

accompagnera le rétrécissement écrèteront le haut-fond, et amèneront un état plus uniforme du cours d'eau. En guidant ainsi l'écoulement partout où il tend à s'écarter du chemin qu'on lui trace, en laissant d'ailleurs un passage suffisant aux bateaux, on conçoit la possibilité d'arriver à un état de choses exempt des alternatives que présente l'état naturel des rivières.

105. Difficultés pratiques des resserrements. — Mais si la possibilité théorique existe, les difficultés surgissent à chaque pas dans la pratique. Voici les principales, parmi celles que l'Ingénieur est appelé à rencontrer:

Si le chenal est trop considérable pour le volume des eaux ordinaires, la mouille d'amont s'abaisse et le rapide supérieur augmente de hauteur. Le courant s'y accélère par suite, et de nouvelles érosions en sont la conséquence; l'augmentation de la vitesse, l'émersion de nouveaux hauts-fonds peuvent compenser le bénéfice de l'écrètement du seuil inférieur.

Si, à la suite de travaux confortatifs spéciaux, le chenal demeure au même niveau, mais avec un périmètre mouillé moindre, le courant s'accélère nécessairement et rend la remonte plus difficile.

Si les digues sont tenues un peu hautes, elles resserrent nonseulement les basses eaux, mais encore les eaux moyennes, qui alors prennent une vitesse considérable. La navigation s'en trouve gênée au moment même où l'abondance des eaux rendrait utile qu'on la favorisat. En outre, avec cette action puissante, on a toutes chances pour que les effets du dragage dépassent la limite.

Si, pour éviter cet inconvénient, on abaisse les digues jusqu'à l'étiage, on a à craindre de voir les hautes eaux, non maintenues, sortir du lit qu'on voulait fixer, bouleverser les digues et reprendre leur direction primitive.

Ajoutons que le long des digues le courant, qui ne peut plus affouiller la rive, concentre sa force sur le bas-fond, creuse leur pied et vient ainsi placer le chenal en telle position le long de la rive concave qu'il cesse d'être praticable.

Enfin, dans les calculs qui sont faits en vue d'un état futur

à créer et à maintenir, on fait entrer en ligne de compte un volume d'étiage qu'on suppose minimum. Or, nous avons vu que ce volume d'étiage n'est rien moins que fixe et diminue généralement dans de fortes proportions, modifiant avec lui le tirant d'eau du passage. Un exemple frappant de ce genre de mécompte s'est rencontré sur la Loire à Châtillon, près Briare, où les deux tronçons du canal latéral sont réunis par un passage en rivière. Sous l'influence de resserrements, le lit s'est bien creusé; mais l'étiage s'est abaissé d'autant et le tirant d'eau, en somme, est demeuré insuffisant.

106. Essais sur la Meuse, la Saone et le Rhône. — On a été plus heureux sur d'autres points. Ainsi sur la Meuse, à Fépin, à Saint-Louis, à Dom-le-Mesnil, on a pu gagner 0<sup>m</sup>,25 de mouillage à l'aide de digues arasées à 0<sup>m</sup>,20 au-dessus de l'étiage. Il est vrai que la vitesse à l'étiage a été alors de 4<sup>m</sup>,40 et s'est élevée à 4<sup>m</sup>,36 et 4<sup>m</sup>,50, quand les eaux devenaient un peu fortes. (Annales de 1841, 4° semestre; M. Thirion.)

Sur la Saône, d'après M. l'Ingénieur en chef Laval (Annales de 1845), on a pu obtenir des mouillages de 1<sup>m</sup>,50, mais à l'aide de vitesses portées à 1<sup>m</sup>,50 en étiage ordinaire, 1<sup>m</sup>,80 en bonnes eaux. Il est permis assurément de se demander si c'est là un succès.

Nous ne serions pas complet si nous n'ajoutions pas que lorsqu'on a voulu, pour des besoins nouveaux, amener le mouillage de ces rivières à 1<sup>m</sup>,60 d'abord, puis à 2<sup>m</sup>, on n'a pas songé à continuer la méthode des resserrements par digues longitudinales. On y a substitué la construction de barrages mobiles.

Sur le Rhône, où l'intensité du courant et le volume dont on dispose presque toute l'année permettent mieux qu'ailleurs ce mode de dragage spontané, on a depuis bien des années cherché à contenir le fleuve entre des digues directrices, pour en fixer le thalweg et en attaquer les hauts-fonds. On a réussi sur nombre de points; et, au début du nouvel état créé par chaque entreprise, on a pu espérer un succès complet, parce que chaque rétrécissement était suivi d'un relèvement des

for which it --- 1

eaux et d'un écrètement également avantageux. Malheureusement ce bénéfice a été souvent précaire. Avec le temps, le lit s'est attaqué plus qu'il ne convenait; l'étiage s'est abaissé dans la partie transformée, certains hauts-fonds ont disparu, d'autres ont pris naissance, quelques-uns se sont simplement déplacés. En somme, on a gagné; mais, de distance en distance, il se reconstitue des seuils analogues à ceux qui existaient auparavant, moins nombreux peut-être, mais encore su flisants pour gêner le développement du trafic.

Nous verrons tout à l'heure les procédés nouveaux à l'aide desquels on cherche à compenser les mauvais effets des digues, tout en conservant leurs effets utiles; mais, pour le moment, nous devons constater que l'emploi des digues longitudinales seules a été insuffisant jusqu'ici à assurer aux rivières une

am élioration notable et surtout définitive,

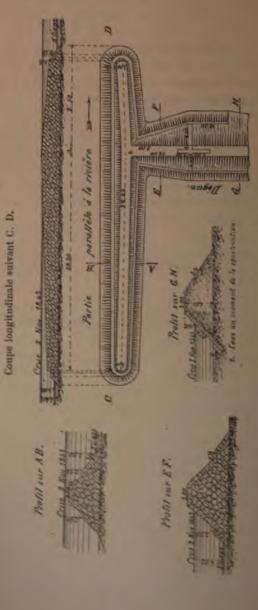
#### § IV

# IE MPLOI DES DIGUES TRANSVERSALES OU ÉPIS

nautre système a été employé, c'est celui des digues transvers ales ou épis. On s'est dit qu'il n'était peut-être pas nécessaire d'accompagner le cours d'eau partout, au moins sur l'une de ses rives, pour le maintenir dans une direction déterminée. 11 pourrait suffire d'armer la rive sur laquelle il tend à se jeter d'épis saillants, qui de distance en distance en défendraient les approches, et le forceraient à se fixer.

102. Épis de Chouzé. — Des essais pratiqués sur la Loire, à Chouzé, n'ont pas été heureux. Les résultats en sont appréciés dans une note de M. Baudemoulin insérée aux Annales de 1832 (4° semestre). Les épis, normaux à la rive, brisaient bien le courant; mais tout en le déplaçant ils l'exagéraient à leur extrémité. Le lit se creusait sur ce point extrême, et les tourhillons qui en étaient la suite amenaient le chenal à dé-

DIGUES DE LA DURANCE



crire autant d'inflexions qu'il y avait d'épis. L'état du fleuve ayant empiré, il faut reconnaître que ce mode de direction, te, qu'il a été appliqué, ne conduit pas au but qu'on se proposait '.

Il n'en est pas de même si on veut l'utiliser à empêcher la divagation du lit; c'est ainsi que le système des épis saillants et hauts a été employé avec succès sur des rivières torrentielles, sur la Durance par exemple.

108. Digues de la Durance. — Cette rivière divague dans sa vallée, qu'elle ravage à chaque crue importante. Dans l'intérêt des riverains, plutôt que dans celui du flottage (de semblables rivières ne sont navigables que de nom), on cherche à ramener le lit aux largeurs réellement nécessaires. On a recours, pour atteindre ce but, aux digues en T, qui restreignent l'espace livré au courant et amènent la restitution à l'agriculture des parties inutilement occupées par le cours d'eau.

Ces digues à T (Voir Annales des Ponts et Chaussées, mai 1876; notice de M. Hardy) sont des épis insubmersibles, terminés par un tronçon de digue longitudinale en pente des deux côtés à partir de l'épi. On donne 60 ou 80 mètres à la branche amont du T, 25 à 30 mètres à la branche aval; des tronçons de digue longitudinale, espacés à de grandes distances, jalonnent l'alignement sur les points où le courant a besoin d'être fixé. Des atterrissements se forment à l'abri des digues, et peu à peu la terre cultivée gagne sur le sol improductif.

Nous verrons plus tard que cette modification au régime des cours d'eau, lorsqu'on la généralise, est de nature à aggraver les effets des inondations. Toutefois, envisagée comme amélioration locale et agricole, elle mérite l'attention, surtout lorsque la conquête à réaliser a une valeur en rapport avec les sacrifices qu'elle exige dans le présent et dans l'avenir. On doit toujours s'attendre, en effet, à voir chaque crue ramener une lutte, et l'entretien est d'autant plus onéreux par hectare

<sup>1.</sup> On a depuis relié par une digue, sans grand avantage, les extrémités des épia de Chouzé.



CHAPITRE V. RESSERREMENT DU LIT

104

que le nombre d'hectares conquis est plus restreint. C'est là un point de vue sur lequel il convient d'appeler l'attention, et dont il n'a peut-être pas toujours été assez tenu compte dans les entreprises exécutées.

### § V

SYSTEME MIXTE DE DIGUES BASSES, D'ÉPIS DE FAIBLE HAUTEUR ET DE SEUILS DE FOND.

109. Applications récentes du système, et but à atteindre. — Aujourd'hui l'on poursuit sur le Rhône l'amélioration de la navigation au moyen d'épis transversaux et de digues longitudinales combinés, mais en transformant ces ouvrages et en les multipliant, de façon à obtenir sur le régime des eaux une action plus modérée, plus lente et par suite plus durable. Ce nouveau système est appliqué depuis un certain nombre d'années à des cours d'eau de l'Allemagne (la Ruhr, l'Elbe, l'Oder, le Wéser, la Vistule, le Rhin) et y a produit, paraît-il, de bons effets. On en trouve aussi un essai antérieur sur la Gironde, en aval de l'embouchure du canal latéral à la Garonne, à ce que rapporte M. Baumgarten dans son mémoire inséré aux Annales de 1848 (2° semestre), page 132¹.

On s'est dit que le travail naturel qui produit les mouilles et les maigres est dù non seulement aux apports des affluents, mais encore à une succession d'érosions et de dépôts qui ont lieu le long des rives et sont la conséquence des variations de la vitesse entre deux hauts-fonds. Ainsi qu'on l'a vu déjà, les caux s'accélèrent sur le versant d'aval de chaque seuil, puis

<sup>1.</sup> Si ce résultat (tirant d'eau de 1 mètre 10) ne se manifestait pas bientôt, dit M. Baumgarten, on le provoquerait par des épis en glacis d'étiage que M. de Baudre a appliqués avec tant de succès aux travaux de la Gironde, en aval de l'embouchure du canal latéral, là où il fallait obtenir un courant d'eau de 2 mètres, et qui consistent en quelques lignes de rattachement en saillie sur les lignes de rive formées uniquement par de gros saucissons, qui s'élèvent à 1 mètre ou 80 cent. au-dessus de l'étiage contre les lignes de rive, et vont en s'abaissant vers le large.

attaquent le lit, l'élargissent, l'approfondissent, s'y apaisent ensuite et effectuent un peu plus loin le dépôt des matières transportées. Le profil en long montre en effet, toujours, une pente rapide de l'étiage immédiatement après le haut-fond, puis à la suite un espace correspondant à la mouille où le plan d'eau se rapproche de plus en plus de l'horizontale, et cet état est le témoignage du travail qui s'est accompli pendant la crue. Pour employer une expression usitée parmiles mariniers, la création de la mouille a « mangé la pente, » c'est-à-dire l'a annihilée sur un point pour la reporter à la partie amont de la section de rivière qui sépare deux seuils consécutifs.

En opérant le resserrement du cours d'eau sur le haut-fond, comme le font les digues longitudinales, on peut attaquer cette pente par le haut, et l'adoucir en abaissant son sommet. Nous avons vu que cette manière de faire avait ses dangers, et aboutissait quelquefois à reporter le mal vers l'amont en l'aggravant; or, il n'en sera pas de même en suivant la marche inverse, et en relevant la pente vers le pied, c'est-à-dire en rétrécissant la mouille dans une mesure suffisante pour que le niveau des eaux s'y exhausse dans la partie amont. L'uniformisation de la vitesse s'obtiendra alors non plus par écrêtement du seuil, mais par relèvement d'une portion de la mouille au pied même de ce seuil, sur lequel l'inclinaison se trouvera par cela même adoucie.

Ou plutôt, pour parler plus exactement, on combinera l'écrèlement des seuils et le relèvement des mouilles de façon à obtenir un état moyen plus favorable à la navigation, moins Perturbateur au point de vue des érosions successives et des depôts qui les suivent.

Si, en même temps, on défend le lit par des revêments assez so li des pour résister à la vitesse moyenne qui devra s'établir, il est évident qu'on aura bien des chances pour voir augmenter lirant d'eau de la voie navigable. On aura encore à lutter tre les dépôts, dus au courant, des matières qui vont de la rce à la mer; mais on aura atténué dans une large mesure perturbations locales qui aggravaient le phénomène, et n pourra espérer une atténuation correspondante dans ses

110. Conséquences de la théorie des nouveaux ouvrages. — Cette théorie, qui semble juste dans son principe, entraîne diverses conséquences qu'il ne faut pas perdre de vue:

1° Les érosions se produisant à la rive concave et sur le fond, il faut que le fond, comme la rive, soit défendu dans les parties où il est susceptible de s'attaquer;

2° Il ne suffit pas que la rive soit assez solide pour résister; il faut encore que le thalweg ne s'en rapproche pas trop et que le courant s'en détourne, si l'on ne veut pas que les bateaux y soient jetés. En d'autres termes la section, dans les parties courbes, ne doit pas être trop dyssimétrique par rapport à son axe;

3° Enfin, il convient que ces transformations s'opèrent peu à peu, car l'introduction brusque d'un changement de régime aurait pour conséquence à peu près inévitable la naissance de tourbillons, c'est-à-dire de vitesses passant en certains points du positif au négatif, et produisant précisément les effets que l'on a en vue d'éviter.

Voici comment ce programme peut être réalisé :

111. Définitions. — La défense du lit sera obtenue par une succession de digues basses transversales ou épis, qui prennent différents noms suivant la position qu'ils occupent.

Lorsque ces digues basses, traversant le thalweg, protègent le fond du lit sur une partie notable de sa largeur, elles prennent le nom de seuils de fond.

Quand elles défendent les parties basses d'une seule rive au-dessous du niveau nécessaire à la navigation, demeurant ainsi toujours submergées, ce sont des épis noyés.

Lorsqu'elles prennent à la partie de la berge qui découvre et s'enfoncent plus ou moins bas sous l'étiage, ce sont des épis plongeants.

Enfin si, demeurant à la partie supérieure de la berge, elles ont pour rôle de barrer à l'accès des eaux une plage ou un bras secondaire, on les appelle traverses, tenons ou rattachements. Ce dernier nom s'applique surtout aux traverses qui se rattachent à une digue longitudinale.

112. Constitution générale des ouvrages. — Tous ces ouvrages sont formés d'enrochements à pierre perdue qui exhaussent le sol par places, et qui, convenablement rapprochés, tempèrent le courant. On les espace de quantités essentiellement variables, suivant l'effet à en obtenir; pour ne pas laisser à ce sujet un vague absolu, nous dirons qu'en général on les établit à une distance voisine de leur longueur.

113. Leur effet au point de vue de la défense du lit. —
Entreces digues basses s'emprisonne une eau dormante qui aide
à l'apaisement de la vitesse; car, ainsi que l'a indiqué M. de
Prony depuis bien des années déjà, « la masse de fluide stagnoute est susceptible de remplacer les masses solides qui, dans
les eaux ordinaires, contiennent les eaux. » (Annales de 1832,
1"semestre; page 334). On oppose ainsi à l'énergie affouillante
une succession de freins bien placés, qui la diminuent là où
elle s'exagère, et par cela même en reporte une fraction sur une
partie du même profil où des dépôts avaient lieu précédemment. L'élément résistant se dissémine suivant les besoins du
moment; et dans cette lutte progressive, où l'on peut insister
sur les points où l'ennemi faiblit, céder au contraire sur ceux
où la lutte devient dangereuse, l'adresse et la patience sont en
jeu au moins autant que la force.

On conçoit néanmoins que l'emploi des épis et des seuils n'exclut pas celui des digues longitudinales, ne fût-ce que pour réunir les épis et rendre solidaire le damier résistant qui constitue l'ensemble des ouvrages. S'ils ont donné des mécomptes, d'ailleurs, les resserrements ont eu aussi de bons effets; et il serait irrationnel de renoncer à utiliser comme auxiliaire une force naturelle, au moment même où l'on acquiert les moyens de la modérer.

114. Effet au point de vue de la navigation. — Comment maintenant détournera-t-on de la rive concave le courant qui tend à y jeter les bateaux, pour le reporter sans cesse plus près de l'axe du lit?

Ce sera par l'orientation et par la pente données à chaque épi. L'axe longitudinal sera toujours dirigé de l'aval à l'amont,

largetor & 2 ford x 1889 9.301

en allant de la rive au thalweg; la pente de la crête obéira à la même loi; sous cette double influence, il est aisé de reconnaître que les filets liquides qui pénètrent entre deux épis sont ramenés par déversement vers le milieu du lit. L'expérience a nettement établi la supériorité de cette disposition, qui entraîne pour les seuils de fond la forme d'un chevron plus ou moins aplati, suivant la courbure du lit, au point où ils s'établissent.

115. Effet au point de vue des tourbillons à éviter.

Reste enfin la marche progressive à assurer à l'œuvre, sa secousses et graduellement. Pour y arriver, on ne donne to d'abord aux ouvrages qu'un très faible relief, sauf à les a hausser quand le courant aura commencé à obéir à leur action place quelques épis aux points les plus attaqués, et on augmente le nombre à mesure que l'effet se dessine. En mot, on suit le fleuve dans le mouvement de recul qu'on In imprime, en se conformant d'ailleurs autant que possible à ses tendances naturelles, afin d'éviter un retour offensif de sa part.

Dans cette étude, où chaque jour on suit l'effet des travaux exécutés la veille, il convient de s'attacher à modifier le moins possible le régime des eaux envisagé dans son ensemble. Or évitera les lignes droites qui laissent le thalweg indécis, et en diminuant les longueurs augmentent la pente. On ne recherchera pas les courbes régulières d'un tracé de route ou de chemin de fer, et on se contentera, s'il est possible, de celles qui s'indiquent spontanément sur chaque point. En un mot, on s'efforcera de respecter les forces naturelles et même de s'en faire un auxiliaire partout où on le pourra, en n'attaquant de front que les anomalies accidentelles, comme un dépôt consolidé par le temps, une roche, ou tout autre obstacle qui une fois enlevé n'a pas de chance de se reproduire.

Avec cette marche prudente, il n'est pas douteux qu'on puisse améliorer notablement la navigation sur les cours d'ean à fond mobile : par cette méthode, on espère arriver sur le Rhône à un tirant d'eau assuré, au plus has étiage, de 4,60, alors que plusieurs hauts-fonds n'offrent encore qu'un mouillage de 0,70 à 0,80, et les résultats obtenus déjà justifient la

confiance qu'ont les ingénieurs dans la valeur de la méthode dont nous venons d'indiquer les traits saillants.

116. Exemple du passage de Revestidou. — Pour mieux faire juger du système, nous donnons un dessin relatif à l'un des passages améliorés; celui dit du Revestidou, en face Caderousse, dans le département de Vaucluse. On y trouvera une idée du procédé suivi pour faire disparaître le haut-fond dit des Brotteaux.

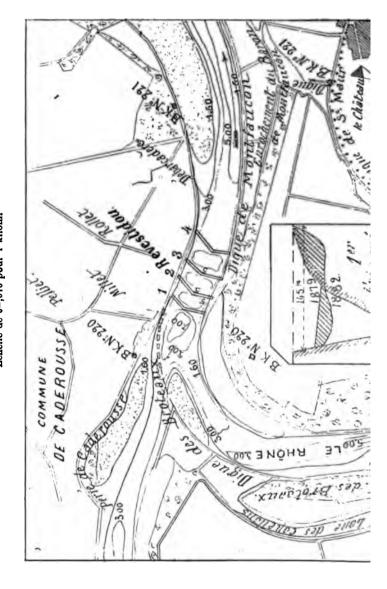
117. Limites dans lesquelles on peut espérer agir. — Il convient toutefois de ne pas s'illusionner sur la valeur des améliorations que l'on peut atteindre par cette méthode. Elle me peut modifier que dans une mesure restreinte la navigabilité d'une rivière; elle est loin d'être applicable partout.

En ellet, chaque épi ou seuil de fond est, à proprement parler, un barrage élémentaire placé dans le cours d'eau et qui ne peut avoir sur la pente qu'une action élémentaire aussi. Or, cette action ne croît pas avec le nombre des barrages, et quelques-uns de ces ouvrages se succédant à distance convenable produisent le même exhaussement que si la fosse était comblée jusqu'à leur crête. On arrive donc promptement à la limite de ce que l'on peut espérer, au pied de chaque seuil envisagé isolément.

Cette limite est d'ailleurs fixée sur chaque cours d'eau par la nature. Quelqu'heureuses que soient les circonstances locales, on ne peut pas, dans la voie d'uniformisation, aller plus loin que la pente générale de la vallée sur la section que l'on considère; il restera toujours, par suite, une vitesse gènante pour la remonte. Sans doute on aura régularisé cette vitesse à la fois dans le profil en long et dans le profil en travers; sans doute, avec un thalweg un peu éloigné de la rive, les bateaux chenaleront plus aisément; mais au fond ce sera toujours le même genre de navigation que par le passé, exigeant de puissants engins et un personnel exercé. A ces conditions seules on peut faire parcourir avec quelque sécurité un fleuve rapide comme le Rhône, à travers les sinuosités nombreuses de son cours et les fréquents passages rétrécis que causent les voies de



# CHAPITRE V. RESSERREMENT DU LIT



LES ÉPIS NOYÉS DU RHONE Échelle de 0m,076 pour 1 kilom.

110

communication dans sa vallée riche et industrielle. Il est même permis de dire que si les ouvrages régulateurs dont nous avons parlé modèrent les grandes vitesses et régularisent les pentes, l'uniformisation du lit, en détruisant les tourbillons et les remous, annule des pertes de force vive et accroît dans une certaine mesure l'action générale de la gravité. Le courant, pour avoir perdu ses écarts, qui étaient parfois un obstacle local infranchissable, n'en a donc pas moins conservé sa puissance moyenne accrue plutôt que diminuée.

Enfin, quel sera l'effet des grandes crues sur cette armure générale posée en temps d'étiage? On ne le sait pas encore avec certitude, bien que les grandes eaux de 1882-1883 semblent n'avoir eu jusqu'ici aucune influence fâcheuse. C'est surtent dans cet ordre d'idées qu'il est sage de ne demander au régime naturel que les moindres concessions possibles, pour mieux éviter les bouleversements.

Ajoutons que si la méthode est applicable en France, c'est au Rhône plus qu'à tout autre cours d'eau. Ce fleuve, qui prend sa source dans les glaciers des Alpes, a un débit qui ne s'abaisse jamais par seconde au-dessous de 200 mètres cubes à Lyon et de 400 mètres cubes vers la mer, pour demeurer tout l'été dans les mêmes localités vers 300 et 600. Ce volume roule sur des pentes qui, évaluées par grandes sections, varient de 0m,30 à 0m,80 par kilomètre, et sur certains rapides montent beaucoup plus haut. On a donc à la fois la vitesse qui peut draguer, et la masse d'eau sur laquelle le plus léger changement de forme ou le moindre ralentissement peuvent faire gagner quelques décimètres de profondeur au thalweg, c'est-à-dire ce dont on a besoin. Assurément, on ne saurait être aussi affirmatif sur la Loire ou sur la Garonne, parce que les effets à obtenir ne peuvent être que proportionnels à la puissance persistante de l'instrument mis en œuvre.

118. Conclusion générale. — Concluons donc en disant que l'amélioration des rivières, par simple modification de leur lit, n'est pas susceptible d'amener une transformation profonde dans leur état de navigabilité. On améliorera dans une mesure plus ou moins restreinte, suivant que les forces naturelles

Cette conclusion, toutefoi moyenne des cours d'eau, ne embouchure dans la mer; là sont réunis et le volume des outre les phénomènes maritir ils justifient une étude spécia plus tard, après avoir termine des rivières proprement dites.

# CHAPITRE VI

# BARREMENT DES BRAS SECONDAIRES ET REDRESSEMENT DES COUDES

#### SOMMAIRE:

12. — Barrement des tras secondaires : 119. Le barrement doit se limiter aux eaux d'étiage. — 120. Emploi d'enrochements en fondation. — 121. Profil. — 122. Couronnement. — 123. Ossature en pieux. — 124. Parements. — 125. Qualités à demander aux enrochements. — 126. Travaux du Rhin. — 127. Nécessité de multiplier les barrages. — 128. Conservation des bras barrés.

Redressement des coudes : 429. Inconvénients des coudes. — 130. Impossibilité de rectifier le lit. — 131. Les modifications ne doivent pas diminuer la langueur. — 132. Les ponts doivent être convenablement orientés.

## S Ior

# BARREMENT DES BRAS SECONDAIRES

119. Le barrement ne doit affecter que les eaux letiage. — Nous venons de voir comment dans diverses irconstances on pouvait, à l'aide de digues longitudinales et ransversales, concentrer dans un chenal plus profond les aux d'une rivière et obtenir ainsi une forme de section plus favorable à la navigation. Dans le même ordre d'idées, on est suvent amené, lorsqu'un cours d'eau se divise en deux bras, fermer l'un d'eux pour jeter le volume entier dans l'autre d'améliorer ainsi à l'aide d'un accroissement de débit. C'est, proprement parler, encore un rétrécissement de section.

Il est utile, pour que [ce rétrécissement ne devienne nuisible, que l'effet qu'il est destiné à produire se limite a basses eaux, et disparaisse à peu près complètement en hau eaux. Les digues fermant les bras secondaires devront de toujours s'araser aux environs de l'étiage, et se placer en te position' qu'elles gènent le moins possible l'écoulement crues. C'est un calcul à faire dans chaque cas particul calcul auquel on arrive par des tâtonnements, en admett pour les crues la pente naturelle de la vallée ou les per observées, et en déterminant pour un niveau donné le d que donneront ensemble le bras libre et le déversoir du l barré. Il va sans dire que ces essais ne peuvent fournir qu' approximation grossière, et il convient de se donner tout marge possible.

La construction des barrages appelés à fermer des bras quelque importance présente de sérieuses difficultés, en ra de l'intensité croissante du courant dans le bras qu'on ba Voici comment on peut procéder.

- 120, Emploi d'enrochements en fondation. Su fond du bras à fermer on immerge une couche de moell destinée à servir de radier et à supporter le choc de la déversante. Cette fondation doit avoir une très grande gueur dans le sens du courant (quinze fois la chute qui se duira, s'il faut en croire une loi empirique); quant à l'é seur, elle est indéterminée, puisque dans les rivières à très mobile cette fondation, le plus souvent, pénétrera da lit et y disparaîtra.
- 121. Profil. Sur cette première assise qui ne fo qu'un relief insignifiant et qui, par suite, ne détermine a changement sensible dans le bras, en monte, par cou horizontales de toute la longueur du barrage, le massif de à former digue; on lui donne, à l'amont, un profil à 1. base pour 1 de hauteur, et à l'aval une inclinaison beau plus douce, curviligne même, et variable avec la nature dimension des blocs d'enrochement. Cette inclinaison ne rait être moindre que 2 de base pour 1 de hauteur, dans

petites chutes, et elle doit être supérieure dans les grandes-Le couronnement présentera une largeur suffisante pour que les moellons s'y prêtent une aide réciproque, ce qui n'exige pas moins de 1<sup>m</sup>,50 à 2 mètres.

A mesure que ce remblai monte par assises, la section mouillée se rétrécit, la chute se dessine, et la lame qui surmonte le barrage prend une vitesse plus grande. Cette vitesse détermine nécessairement des mouvements dans les enrochements qui descendent, s'enfouissent; il faut les recharger afin que le profil se maintienne. Faute de cette précaution, il se formerait un affouillement où pourrait tomber la digue.

A mesure que l'on s'élève, l'eau acquiert plus de force jusqu'à une certaine limite, passé laquelle la lame déversante, en s'amincissant, perd de sa force affouillante. Il est bon par suite, lorsque le maximum se produit (ce que souvent indiquent les mouvements de la masse), de conduire l'opération le plus rapidement possible afin d'échapper promptement à ce moment critique; la digue, ensuite, s'achèvera avec une facilité croissante.

- 122. Couronnement. Le sommet en est arasé en moellons de choix, posés à la main, place par place, et disposés sans petites pierres de façon à présenter un parement à peu près uni, en matériaux solides enchevêtrés les uns dans les autres.
- 123. Ossature en pieux. Lorsqu'il est possible d'établir préalablement, au travers de ce massif, quelques pieux destinés à former obstacle à la translation des enrochements sous l'action du courant, on a beaucoup plus de chances de succès, avec un moindre cube. Il faut toutefois que la pointe de ces pieux pénètre au-dessous du niveau que peuvent atteindre les affouillements, afin qu'ils demeurent sûrement fixés au sol et y rattachent le barrage.
- 124. Parements. Les enrochements doivent être d'autant plus forts qu'ils sont plus voisins de la surface (surtout du côté d'aval), puisque c'est le parement qui supporte le prin-

cipal choc. Or, la différence de prix entre les gros enrochements et les petits étant ordinairement très notable, cette considération conduit à adopter, dès l'abord, des profils épais et solides, afin que les mouvements de la masse soient peu sensibles, et laissent à leur place les matériaux qui ont été déposés. Le cube en augmente, il est vrai ; mais c'est surtout avec les matériaux les moins coûteux qu'il se développe, puisque les moellons de grandes dimensions ne sont employés que dans les surfaces.

Nous devons placer ici une observation sur le volume et le poids à rechercher dans les enrochements destinés aux digues en rivière.

125. Qualités à demander aux enrochements. - La mise en place des enrochements est toujours assez facile quand elle peut se faire à la main. Elle devient au contraire très coûteuse lorsque la masse de chaque bloc force à recourir à des appareils spéciaux. Ce dernier cas se rencontre fréquemment à la mer et le long des cours d'eau très torrentiels, mais il n'a pas d'application sur le cours des rivières navigables à l'intérieur des terres. Dans tout ce que nous avons dit, par conséquent, les gros enrochements sont pour nous ceux dont le transport exige deux hommes avec une civière, c'est-à-dire qui pèsent de cinquante à cent kilogrammes ; les petits sont ceux qu'un seul homme jette facilement. Nous rappelons d'ailleurs que les moellons les plus denses doivent être préférés, parce que les pierres immergées perdant un poids égal à celui de leur cube en eau, la stabilité se trouve proportionnelle non aux densités, mais aux densités diminuées d'une unité. Or, dans les limites de densité de la pierre, le rapport change dans une très large proportion ; il s'ensuit qu'avec des pierres plus denses on peut diminuer non seulement le volume des blocs, mais même leur poids absolu, ce qui est un avantage d'exécution à ne pas négliger.

126. Travaux du Rhin. — Rappelons encore au suje de ces digues les travaux exécutés sur le Rhin par M. Defontaine, travaux dont on trouve le détail aux Annales de 1833 Le barrage des bras secondaires y occupe une très large place; on verra que M. Defontaine, ne se contentant pas d'un seul barrage, en plaçait souvent deux dans le bras à fermer, afin de mieux intercepter le courant.

brasa fermer. — Nous pensons qu'il y a là une précaution qui s'impose, et à laquelle il convient d'avoir presque tou-jours recours. On ne doit pas perdre de vue que la division du cours d'eau en plusieurs bras est une conséquence de son régime, sur le point où la bifurcation a lieu; elle tendra donc a se reproduire quand les mêmes circonstances se présente-ront, et pour lutter contre cette tendance il ne suffit pas d'un seul obstacle dont l'influence disparaît sous une crue de quelque importance; il en faut une succession qui assurent, même pendant les crues, la prépondérance du bras que l'on vent favoriser. Le bras à barrer recevra en conséquence non seulement une digue, mais plusieurs digues espacées sur sa longueur, de manière à calibrer sa section et à empêcher le lhalweg de s'y porter, une fois le premier obstacle franchi.

128. Conservation des bras barrés, - Nous terminefons par une recommandation. Les bras barrés se trouvent soustraits à l'action des eaux courantes pendant une grande partie de la belle saison. La végétation s'y développe, et chaque petite crue ne les colmate que plus vite. Le sol s'exhausse, à la rive comme dans le lit, et peu à peu l'espace réservé aux eaux se rétrécit; l'alluvion s'attache aux terres riveraines et devient susceptible de propriété privée au-dessus d'un certain niveau. On voit ainsi diminuer progressivement la section d'écoulement des crues, et on conçoit comment le niveau de celles-ci doit se surélever d'une quantité correspondante. Il y a là un danger sérieux, auquel il convient de parer en maintenant toujours à l'écoulement la section que la nature lui avait assignée. Plus on aura concentré les eaux d'étiage dans un chenal unique, plus on aura le devoir de veiller à ce que les hautes eaux retrouvent leur domaine intégral; plus on sera tenu, par conséquent, de défendre ce domaine contre

les entreprises des riverains et l'action de la végétation. C'est un point sur lequel il était essentiel d'appeler l'attention.

# § II

# REDRESSEMENT DES COUDES.

129. Inconvénients des coudes. — Les coudes, surtout lorsqu'ils sont à courbure forte et irrégulière, ont pour la navigation de graves inconvénients. Le courant s'y jette ave violence sur la rive concave, et peut d'autant mieux y entra ner les bateaux que ceux-ci sont forcés de s'en rapproche beaucoup pour suivre le chenal qui s'y porte toujours au pie même des érosions. Pour peu que le vent vienne en même des érosions. Pour peu que le vent vienne en même des érosions de la rive convexe, et que le halage soit placé sur l'autrive, le passage devient véritablement dangereux.

Le touage lui-même y trouve des difficultés spéciales, par que la traction opérée sur la chaîne entraîne celle-ci sur atterrissements de la pointe convexe, c'est-à-dire sur une partie où la profondeur manque, et le convoi peut se trouve arrêté.

Enfin, ce qu'il y a de grave, c'est que plus on attend et pluse le mal croît. Les érosions d'une part; les atterrissements de l'autre, en s'accentuant, empêchent de plus en plus les deux courbes du chenal de circonscrire le rectangle du bateau. On pourrait citer des passages où un bateau, s'il venait à se placer en travers, s'appuierait à chaque berge, barrerait la rivière et se briserait sous l'effort du courant.

130. Impossibilité de rectifier le lit. — Il est bien difficile, néanmoins, de songer à rectifier une rivière trop sinueuse. Tout essai dans cet ordre d'idées aurait pour effet de diminuer la longueur, d'exagérer ainsi la pente, c'est-à-dire la vitesse, et de nuire par là au trafic ascendant. Si l'on se reporte en outre à ce que nous avons dit du serpentement des rivières on comprendra comment, pour lutter contre cette action na-

donné naissance à une vitesse plus forte que celle sous l'empire de laquelle la vallée s'est formée.

131. Les modifications ne doivent pas diminuer la longueur. — Tout ce qu'il est possible de faire, c'est de substituer à un coude brusque une courbe adoucie, recevant le courant dans la direction où il arrive, le restituant dans udui où il s'échappait primitivement, et raccordant ces deux alignements par une inflexion régulière, plus favorable au passage des bateaux. Si la nouvelle courbe n'est pas sensiblement plus courte que l'ancienne, si la rive factice est convenablement défendue, le nouvel état de choses pourra être accepté par la rivière.

Encore faut-il de grands ménagements, sous peine de rencontrer des mécomptes et des déceptions. C'est ce qui est arrivé
à propos d'un pont construit sur l'Aisne, en amont de Soissons,
sur le chemin de fer de Paris à Laon. L'axe de la ligne trarersant obliquement la rivière, on y a construit un pont biais,
dont les piles ont été orientées dans le sens du courant qu'on
supposait devoir s'établir sous l'influence d'une modification
du lit. L'événement n'a pas justifié ces prévisions; le courant
ret demeuré à sa place et a pris, par rapport aux piles, une
direction telle que des accidents graves sont survenus. La
l'ompagnie a été condamnée à des dommages-intérêts, très
légitimement dus en pareil cas.

132.Les ponts doivent être convenablement orientés.

— Des faits de ce genre se présentent assez fréquemment, parce que l'on cherche d'habitude à placer les ponts dans les courbes, en vue de diminuer les chances de déplacement du lit. Aussi est-il dans le rôle des ingénieurs de la navigation de veiller à ce que les ouvrages fixes à placer en lit de rivière aient une direction qui puisse coïncider avec celle du courant futur. Si le pont à construire doit respecter complètement la section du cours d'eau, ils n'ont à intervenir que pour assurer anx passes l'emplacement et la direction convenables; mais si le lit doit être modifié, il faut examiner de près le projet, vé-

rifier si la défense de rive s'étend sur une longueur suffisante pour fixer la nouvelle direction, et en outre faire toutes réserves pour le cas où l'expérience prouverait que le but n'a pas été atteint.

En cas de doute, rien ne remplace les larges ouvertures à travers lesquelles les bateaux trouvent une grande liberté de manœuvre et des chemins de halage non interrompus. On doit insister, dans la mesure du juste, pour obtenir des dispositions de ce genre toutes les fois qu'une solution contraire n'est

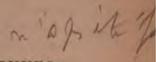
pas imposée par les circonstances locales.

Quand un changement de forme du lit est devenu nécessaire, il convient de recourir aux ouvrages dont nous avons parlé plus haut, c'est-à-dire aux épis plongeants ou noyés pour amener la rivière à se modifier. Ces digues spéciales, orientées de l'aval à l'amont, c'est-à-dire ramenant toujours le conrant vers l'axe du lit, deviennent une aide à lanavigation en l'écartant de la rive à laquelle elles s'appuient. En même temps elles apaisent la vitesse là où elle atteint son maximum, et la répartissent par cela même plus uniformément dans la section. Enfin ces ouvrages, commencés prudemment et avec un faible relief, permettent de repousser le courant par degrés insensibles, insistant des qu'il cède, et s'arrêtant aussitôt que la mesure semble dépassée, pour attendre des circonstances plus favorables. Cette gradation des effets, que ne peut donner une digue construite de toutes pièces, n'est pas à nos yeux l'un des moindres avantages des épis, et dans cette voie à peine ouverte en France il y a de grands progrès à réaliser.

Nous dirons toutefois, en terminant, à propos des redressements ce que nous avons dit pour les resserrements. Ils constituent un des procédés d'amélioration qu'il est nécessaire d'appliquer aux rivières qui, par leur régime, doivent rester à courant libre. Ils procureront à la navigation locale un bénéfice certain, mais limité. On ne saurait compter qu'ils suffiront à ouvrir la voie aux bateaux qui fréquentent le réseau intérieur, et qui sont construits et gréés pour des parcours moins in-

certains.

# CHAPITRE VII



# AMÉLIORATION DES FLEUVES A LEUR EMBOUCHURE

#### SOMMAIRE :

ter. — Distinction à faire suivant que la mer dans laquelle se jette le fleuve est sans marées ou à fortes marées. — 133.

2. — Mers sans marées : 134. Idée théorique de la concentration des eaux dans un seul bras. — 135. Conséquences probables. — 136. Exemple du Nil—137. Du Rhône. — 138. Du Danube. — 139. Du Mississipi. — 140. Résumé. 3. — Mers à marées : 141. Forces qui agissent. — 142. Modes de propagation de la marée. — 143. Action comparative du flot et du jusant. — 144. Étude des effets probables sur la barre des élargissements et des retrécissements du lit aux environs de l'embouchure. — 145. Exemple de la baie des Vays. — 146. De la Clyde. — 147. De la Seine. — 148. De la Loire. — 149. Des rivières de la côte Landaise et du Sénégal. — 150. De la Gironde. — 151. Résumé en ce qui concerne les embouchures dans les mers à marées. — 152. Considérations générales sur les travaux à faire à l'embouchure des fleuves.

#### Figure :

Baie des Vays, art. 147.

#### Petites planches :

Le delta du Nil, art. 136. — Le delta du Rhône, art. 137. — Le delta du Danube, art. 138. — Le Mississipi, art. 139. — Carte de la Seine maritime, art. 147. — Profil longitudinal de la Seine maritime, art. 147.

# S Ier

# DISTINCTION A FAIRE SUIVANT QUE LA MER DANS LAQUELLE SE JETTE LE FLEUVE EST SANS MARÉES OU A FORTES MARÉES

133. - Ainsi que nous l'avons dit plus haut, les cours d'eau, lorsqu'ils approchent de la mer, subissent dans leur régime normal des modifications profondes que nous devons



#### 122 CHAPITRE VII. AMÉLIORATION DES EMBOUCHURES

étudier à part, pour reconnaître les moyens de souder la navigation intérieure à la navigation maritime, sur le terrain commun de l'embouchure des fleuves.

Nous envisagerons successivement le cas où le fleuve tombe dans une mer sans marée, et celui où la mer qui le reçoit subit les alternatives du flot et du jusant. Ce n'est pas que, dans la nature, la séparation soit aussi tranchée, puisque l'amplitude de la marée varie par degrés pour ainsi dire insensibles suivant les localités, mais nos conclusions devront être considérées comme se modifiant dans la même mesure, suivant que l'embouchure présente plus ou moins l'un ou l'autre caractère.

### § II

## MERS SANS MARÉES

134. Idée théorique de la concentration des eaux dans un seul bras. — Nous avons exposé la manière dont se forme la barre des fleuves dans les mers sans marée, et expliqué les causes constantes qui la reportent toujours un peu plus loin du rivage en développant le delta dans tous les sens, et en multipliant les bouches. Nous ne saurions mieux comparer cet alluvionnement qu'à la formation du cône de déjection des torrents, cône qui ici se propage sous l'eau et s'avance dans la mer, sous l'influence des apports fluviatiles qu'accroît et consolide le cordon littoral.

La première idée qui se présente à l'esprit, pour diminuer l'éparpillement des embouchures et réagir contre cette transformation d'un fleuve en une multitude de ruisseaux, c'est de barrer un certain nombre de ces bras parasites, et de jeter les eaux réunies dans un lit unique, où elles puissent s'ouvrir à travers la barre un passage suffisant à la navigation; on peut même leur ouvrir artificiellement ce passage dès le début, afin qu'elles n'aient plus qu'à l'entretenir.

#### 135. Conséquences probables de la concentration.

Il n'est pas douteux que cette concentration des forces puisse, dans le principe, produire un bon effet, et percer l'ancienne ceinture au point où on l'aura attaquée. Mais, en détruisant une partie de l'effet, on n'aura pas détruit la cause; en concentrant les eaux, on ne concentre pas moins les matières qu'elles charrient, et l'on ne voit pas pourquoi le même travail ne se reproduirait pas, un nouveau delta venant se greffer sur l'ancien au droit de la nouvelle embouchure. On aura là, comme on avait ailleurs, un courant d'eau douce venant s'éteindre et déposant le même volume d'alluvions pour le même volume d'eau, en sorte que le bénéfice de l'opération sera nécessairement précaire. On peut, il est vrai, accepter la lutte et prolonger l'effort pour accroître la durée de l'amélioration, en poursuivant la barre à mesure qu'elle se forme, mais c'est là une tentative que de très puissants intérets peuvent seuls motiver, et qui ne peut être hasardée qu'à bon escient. A mesure qu'on avance dans la mer, en effet, les difficultés s'aggravent, et le succès, même provisoire, devient de moins en moins assuré.

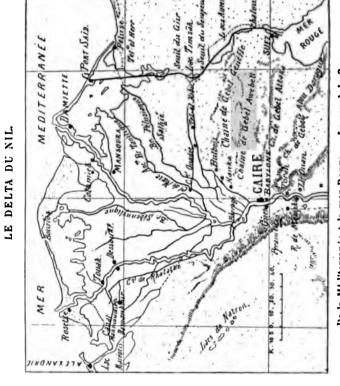
Ine seule hypothèse doit être réservée, c'est celle où ce longement du régime fluvial viendrait jeter les alluvions un courant littoral susceptible de les entraîner et de les perser dans les grands fonds, auquel cas la mesure se trouait justifiée.

Si ce phénomène naturel ne se présente pas, et si les mêmes envénients doivent se reproduire indéfiniment, on est conit à se demander s'il ne vaut pas mieux laisser les dépôts former suivant leur inévitable loi, et créer à côté une voie tificielle qui en soit affranchie.

Telle est la conclusion à laquelle on est conduit théoriuement. Elle n'a toutefois de poids réel que si l'expérience justifie, et c'est ce que nous allons examiner sur les embouhures du Nil, du Rhône, du Danube et du Mississipi. Ce derier fleuve ne se jette pas dans une mer intérieure, mais il ombe dans le golfe du Mexique, où les marées n'ont qu'une rès faible amplitude.



# 124 CHAPITRE VII. AMÉLIORATION DES EMBOUCHURES



De la Méditerrance à la mer Rouge. -- Le canal de Suez.

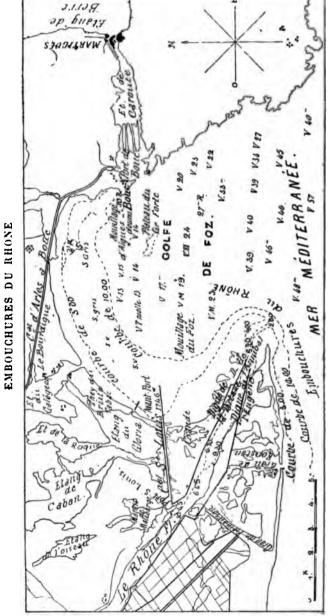
and the second second

cents kilomètres à peu près de la mer, se divise en un grand nombre de branches dont les deux principales sont celle de Damiette à l'est, celle de Rosette à l'ouest. Entre ces deux branches et autour d'elles se trouve le delta proprement dit, c'est-à-dire une plaine basse, consolidée à sa partie amont, marécageuse près du littoral, et bornée le long de la Méditerranée par une suite de lacs ou lagunes, que sépare de la mer cordon littoral de sable formant plage basse. Sur ce delta même, aux deux bouches de Damiette et de Rosette, se greffent deux autres petits deltas qui forment cap sur la plaine basse, et

La bouche de Rosette présente encore un certain mouillage, celle de Damiette est presque perdue ; quant aux autres, qui dans l'antiquité étaient, paraît-il, au nombre de cinq, elles sont totalement fermées et l'œuvre de dissémination du cours de au semble complète. Il a perdu, du reste, sa puissance de I resport. Ses alluvions librement répandues dans la vallée et s le delta y exhaussent le sol d'une quantité qu'on croit d'environ neuf centimètres par siècle, de telle sorte que 1 ancement dans la mer est à peine sensible depuis les temps la la coriques. Le delta est donc arrivé à maturité, s'il est permis s'exprimer ainsi, à peu près comme un torrent éteint; il nous semble vraisemblable que si l'on endiguait le ve, et si l'on réunissait ses bras épars en une seule branche, Jui rendrait son activité, et l'on verrait se propager horizonement les dépôts qui s'étagent aujourd'hui dans le sens tical.

ussi, quand il s'est agi de percer l'isthme de Suez, on a recours à la voie artificielle, et le canal maritime qui réunit léditerranée à la Mer Rouge prend son origine à Port-Saïd a limite est du delta.

37. Le Rhône. — Le Rhône, jusqu'en 4852, se jetait rement dans la Méditerranée par quatre bras ou graus, pelés de Piémanson, de Roustan, d'Eugène et de l'Est. La profondeur y variait d'un mètre à trois mètres suivant les mèes, sans grande différence d'un bras à l'autre.



Le Rhone. — Le canal Saint-Louis. — Le port de Bouc.

Pour permettre l'accès du fleuve aux navires marins, on tenta de 1852 à 1857 de réunir les eaux dans un seul bras; et, de l'avis d'une commission nautique, on choisit la passe de l'Est comme celle qui se trouvait dans les meilleures conditions d'orientation. On ferma par des digues celles de l'émanson, de Roustan et d'Eugène; puis, en même temps, on concentra le courant à l'aide des digues de la Tartane et de l'Annibal situées sur la rive gauche, pour lancer tout le débit dans la passe de l'Est et approfondir celle-ci.

Avec les eaux, les matières charriées ont pris une nouvelle direction; et si l'ancienne barre a disparu elle s'est reformée plus loin, à peu près à la même hauteur, obéissant ainsi à l'impulsion qui lui était donnée, mais sans changer son relief. De 1857 à 1863, l'obstacle avait marché en moyenne de soixante-quinze mètres par an; de 1863 à 1873, il avait avancé annuellement de cent dix mètres; et au delà les grandes profondeurs se trouvaient repoussées dans la même direction,

bien que d'une quantité un peu moindre.

Ainsi, on n'avait rien gagné à cet essai; on peut même dire ue l'on avait perdu, car les graus fermés s'étaient changés en marécages, devenus paraît-il des foyers d'insalubrité. Il eut té dangereux, d'ailleurs, de continuer la lutte en prolongeant es digues; les alluvions du Rhône s'avancent dans la direc-Lion de la pointe de la Couronne et rétrécissent les abords du solfe de Foz où se trouvent le port de Bouc, l'entrée de l'étang e Berre et la sortie du canal Saint-Louis destiné à remplacer a voie naturelle qui est demeurée insuffisante. Il était donc aturel de s'arrêter, et c'est ce qui a été fait; les ingénieurs iennent même de proposer le prolongement de la digue de Annibal en courbe orientée vers le sud, ce qui aura vraisemlablement pour effet de rétablir le grau d'Eugène, un peu lus à l'est qu'il n'était auparavant. Il est permis de se demaner, en présence de cette situation, s'il n'y aurait pas intérêt retourner d'une manière plus complète à l'état primitif, si les plaintes relatives à l'insalubrité étaient reconnues légitimes. 138. Le Danube. - Le Danube, à 80 kilomètres de son embouchure, entre Toultcha et Ismaïl se divise en deux bras

principaux; l'un, au nord, passe par Ismaïl et Kilia et porte le





debite environ les 9/44 de son volume et se jette par sept bouches dans la mer Noire.

Le second bras se bifurque un peu au-dessous de Toultcha, donne naissance à deux branches d'importance très difféte; la branche principale, dite de Saint-Georges, se dirige s le sud-est en passant par Yoslin et Ivancha et roule enviles 4/14 du volume du Danube. L'autre branche, dite de Sules 4/14 du volume du Danube. L'autre branche, dite de Sules, coule de l'ouest à l'est par Gorgova; large de 200 mètres eine, elle n'a guère que le quatorzième des eaux du fleuve.

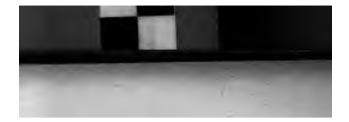
Lorsqu'en vertu du traité de Paris du 30 mars 1856 on dut éliorer l'embouchure du Danube, on se demanda laquelle ces trois directions devait être choisie. A cette époque les dages rapportaient, sur les barres, les mouillages suivants:

Branche de Kilia, 1<sup>m</sup>,80.

Branche de Saint-Georges, 2m,10.

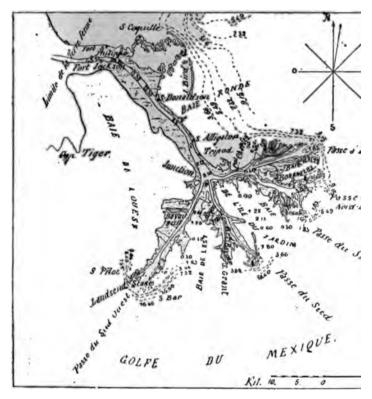
Branche de Sulina, 3m.

La première fut immédiatement écartée, à cause des ramila cations nombreuses que présente son embouchure, et qui estent l'importance extrême des dépôts qui y sont charriés. seconde avait pour elle d'être plus rapprochée de Varna et Bosphore, c'est-à-dire des principaux aboutissants de la igation du Danube; elle roulait un volume d'eau quadruple débit de la troisième, et néanmoins ce fut celle-ci que l'on isit. Peut-être y eût-il des considérations politiques qui Pes èrent dans la balance, mais nous ne pouvons nous empêer de croire qu'un des motifs qui fixèrent le choix sur la nche de Sulina fut que son apport, infiniment moindre, ait plus facilement dispersé par le faible courant littoral de ner Noire qui se dessine sur cette partie de la côte. Un des énieurs anglais qui ont pris part aux travaux, sir Charles etley, émit cette opinion parfaitement juste : « Un grand ume d'eau n'est pas une garantie de profondeur pour la barre. S'il était possible de tenir réunies les eaux du fleuve tier pour lui faire franchir sur un seul point le littoral de la Noire, il n'en faudrait pas moins lutter contre une barre Qui aurait probablement une profondeur moindre qu'aucune des nanches actuelles et serait beaucoup plus éloignée de la côte. »



# 130 CHAPITRE VII. AMÉLIORATION DES EMBOUCHURES

#### LE MISSISSIPI



Carte des embouchures.

On construisit donc, à la bouche de Sulina, deux digues assez longues pour dépasser l'ancienne barre, se rapprochant l'une de l'autre en allant vers le large et limitant à leur ex-

trémité une passe de 180 mètres.

Les travaux furent terminés en 1871; la barre s'abaissa assez pour livrer un mouillage de 6 mètres aux bateaux, et ce uillage s'est maintenu depuis. On peut donc espérer qu'il là un succès à enregistrer; et ce succès nous semble dû, partie du moins, au choix judicieux qui a été fait de la partie du moins chargée en alluvions. On a pu ainsi, en progeant un peu le régime fluvial à l'aide de digues, ne porter courant littoral chargé de le disperser qu'un dépôt n'excédant pas ses forces, et la barre dès lors n'a pu se reformer.

39. Le Mississipi. — La question de l'embouchure du Mississipi est, pour les États-Unis, le pendant de ce qu'a été question du Rhône pour la France; seulement l'échelle est digieusement agrandie. Le fleuve américain et son bassin, si bien que les intérêts commerciaux qui s'y rattachent, infiniment plus importants que ce qui est en jeu sur le ne et dans la Camargue; mais, à part ce point de vue, la stifiées, les difficultés à vaincre sont plus considérables.

Mississipi se jette dans le golfe du Mexique au milieu me mer de vase, par trois passes principales: la passe du de la passe à Loutre qui se subdisse elle-même en trois rameaux. Les cours d'eau qui corresdent à la première et à la troisième sont plus considérables celui qui aboutit à la passe du sud. Cette passe du sud-est, ailleurs, la moins large (220 mètres), la moins profonde (3 mètres); mais il est probable qu'elle charrie moins que les autres, puisque sa barre ne se déplace guère vers le large que de 30 mètres par an, quand la passe du sud-ouest, la plus sui vie actuellement par les bateaux, marche à raison de 30 mètres ou à peu près, pour le même espace de temps.

La Commission américaine qui a arrêté le programme des travaux en 1874 s'est-elle inspirée de l'expérience faite sur le Danube, de 1857 à 1871? Il y a lieu de le croire, puisqu'elle a choisi la passe du Sud comme devant être préférablement améliorée, bien qu'elle ne fût pas celle que la navigation avait adoptée. Cette commission, toutefois, n'a pas eu la pensée de fermer les bouches qu'elle ne transformait pas, comme on l'avait fait en France pour le Rhône. Elle a spécifié, au contraire, que les travaux ne devaient apporter aucune entrave à la navigation telle qu'elle se pratiquait, l'entrepreneur étant d'ailleurs autorisé sous cette condition à exécuter dans le lit du Mississipi, ou dans le golfe du Mexique, telles digues qu'il lui conviendrait pour ouvrir un chenal d'au moins deux cent treize mètres de largeur.

Un ingénieur américain, spéculateur en même temps, M. Eads, s'est chargé de la réalisation du programme, moyennant vingt-six millions de francs payés par acomptes, et un entretien consenti à l'avance. A ces conditions, il s'est chargé de procurer aux navires un tirant d'eau de huit mètres d'abord, puis de dix mètres, lorsque le premier projet aurait été mené à bonne fin. Diverses dispositions financières, qui n'ont pas leur place ici, ont été adoptées par le Congrès en 1875, et règlent cet important marché pour le présent et pour l'avenir.

M. Eads s'est mis immédiatement à l'œuvre. Il a adopté pour système celui que nous avons indiqué plus haut, une lutte de front avec l'obstacle. A l'aide de digues parallèles il attaque un point particulier de la barre et l'écrète sous l'action d'un courant resserré. Sans doute, au delà de cet écrètement, la barre tendra à se reformer, mais il la poursuivra en allongeant les digues; et comme on arrivera dans des fonds de plus en plus bas, comme d'ailleurs le Delta s'élargit, on peut espèrer que le temps nécessaire à la reconstitution de la barre deviendra de plus en plus grand, et rendra la lutte plus facile.

Les digues sont d'ailleurs constituées de la manière la plus économique. Imitées des ouvrages du Rhin; elles se composent de grandes claies flottantes juxtaposées, coulées les unes sur les autres le long de pieux qui leur servent de glissières et qu'on relie ensuite par des traverses. Elles ne sont chargées que de la quantité de moellons nécessaire à leur immersion, et s'empâtent dans la vase qui leur emprunte la cohésion nécessaire à devenir plus tard rive fixe du chenal qu va se créer. Sur les parties exposées à des coups de mer, on

les couvre de pierres destinées à les protéger.

Elles ont six à huit mètres au sommet, dix à quinze mètres à la base; toutefois, on a dù déjà sur plusieurs points doubler leur épaisseur. Jusqu'ici elles ont produit l'effet que l'on en attendait et la barre s'est dérasée sur une notable profondeur sans que nous soyons à même de préciser l'étendue du progrès obtenu.

Ce succès sera-t-il durable? Ces longues digues flottantes, d'une densité presque égale à celle des vases qui les renferment, se maintiendront-elles en place, si par une cause quelconque, tempête ou inondation, les conditions d'équilibre du milieu qui les entoure viennent à se modifier? Ne serontelles pas bouleversées par un de ces terribles ouragans des Propiques, étant donné qu'elles ont déjà subi d'assez graves avaries pendant leur construction?

Pourra-t-on, si avec le temps la barre se reforme, pousser de semblables ouvrages de plus en plus avant dans les grandes Profondeurs? Et ne tombera-t-on pas alors dans des conditions

d'exécution trop onéreuses?

La création d'un chenal important n'amènera-t-elle pas naturellement sur ce point le principal courant du Mississipi; et, par cela même, des dépôts beaucoup plus considérables Que ceux du moment actuel?

Ce sont là de graves questions qu'il serait imprudent de considérer comme résolues, soit dans le sens du succès, soit dans celui d'échecs possibles; mais on ne peut se défendre à leur sujet de doutes et d'inquiétudes, les études n'ayant pas révélé dans le golfe du Mexique l'existence de courants analogues à celui qui a fait le succès de l'opération à la bouche de Sulina, sur le Danube.

Ce qu'on peut dire, c'est que cette entreprise grandiose, qui convient parfaitement au génie du peuple américain, ne serait probablement pas aussi bien accueillie en France par l'opinion publique. Vivre au milieu d'un provisoire qui peut disparaître du jour au lendemain, en profiter au plus vite, et se reporter ailleurs, si l'entreprise vient à échouer, n'est pas dans nos mœurs, il faut le reconnaître, et nous ne saurions conseiller chez nous, malgré leur côté séduisant, ces tentatives peut-être plus audacieuses que raisonnées.

140. Résumé sur les embouchures dans les mers sans marée. — En résumé, les expériences que nous venons de rapporter semblent confirmer l'opinion que suggère l'étude théorique des causes qui donnent naissance aux barres à l'embouchure des fleuves se déversant dans les mers sans marée. La barre est la conséquence inévitable d'une loi naturelle; on peut la déplacer, on ne peut pas la supprimer. En concentrant les eaux du fleuve, on concentre aussi les alluvions, et là où l'eau courante vient s'amortir dans la mer, il y a dépôt. Les vagues modifient ce dépôt, le cordon littoral le consolide et le développe, les vents régnants agissent aussi sur lui; mais le phénomène, au fond, persiste et obéit à sa loi, sauf le cas où un autre grand phénomène naturel, un courant littoral par exemple, intervient dans la question avec une intensité suffisante pour dissiper les apports fluviatiles.

Si cette condition n'est pas remplie, le succès a grande chance de n'être qu'éphémère; et le plus souvent, alors, la vraie solution consiste à remplacer par une voie artificielle le cours d'eau naturel dont l'amélioration se présente avec un

caractère aussi précaire.

#### § III

#### MERS A MARÉES

111. Forces qui agissent. — Dans les mers à fortes marées les apports fluviatiles, en arrivant à la côte, ne trouvent plus comme dans les mers sans marée une nappe liquide, agitée parfois mais généralement sans vitesse de translation, c'est-à-dire apte à laisser s'accumuler les dépôts. Ceux-ci tombent au contraire dans une masse considérable d'eau animée d'une vitesse variable, très forte à de certains moments, et qui deux fois par jour pénètre dans l'estuaire ou le quitte,

dispersant les alluvions du fleuve, y mêlant les siennes, et modifiant par suite de la manière la plus complète le régime fluviel.

Avant d'aborder l'étude des idées qui peuvent guider au milieu de ces influences diverses, il convient de se rendre compte de la manière dont se propage la marée dans le lit des flouves.

l'attraction combinée de la lune et du soleil, la mer s'élève à la côte, elle pénètre dans l'estuaire des fleuves et de là dans leur lit, qu'elle remplit en se mêlant à leurs eaux douces refoulées. Généralement, sur les fleuves navigables de nos contrées, à l'embouchure même, le volume des eaux salées qui pénètrent dans les terres est infiniment plus considérable que celui des eaux douces qui viennent à la mer (le cas d'inondation excepté), en sorte que le lit se remplit comme un long vase à peu près horizontal, de section décroissante, qui serait maintenu en communication constante avec un réservoir de capacité indéfinie et à niveau variable.

A mesure que la marée monte, l'eau s'introduit dans le fleuve, poussée par la pression du flot qui s'élève, mais retenue dans sa marche par les frottements du lit et l'eau douce qu'elle refoule. Son invasion est donc progressive, et exige un temps d'autant plus long qu'on s'éloigne davantage de l'embouchure. Au bout de quelques heures, la pleine mer d'abord, le jusant ensuite se font sentir; mais cette nouvelle action met, elle aussi, du temps à se propager et à rejoindre la première, en sorte qu'en somme la marée se dessine dans les fleuves sous la forme d'une onde qui roule sur le lit pendant le flot, et qui s'aplatit par l'aval pendant le jusant. A mesure qu'on remonte le cours d'eau, la durée du flot diminue, celle du jusant augmente, et c'est ainsi qu'on arrive par degrés au régime fluvial qui est un jusant continu.

En amplitude, cette onde a un maximum placé à quelque distance de la côte. Là, en effet, entre l'impulsion du flot qui se concentre dans la baie et la résistance à l'écoulement qu'offre le rétrécissement du lit, il y a une intumescence qui

surélève les eaux; et le lieu géométrique des hautes mers dues à la même marée de vives eaux est une courbe qui monte d'abord, en partant du large, puis s'abaisse vers l'amont pendant un certain temps, pour remonter ensuite d'accord avec la pente naturelle du fleuve. (Voir Annales des ponts et chaussées de 1861, 1<sup>er</sup> semestre; mémoire de M. Partiot.) Ces variations sont d'autant plus accusées que l'intensité du flot est plus forte, et que le volume des eaux douces est moins considérable. Pendant les quadratures elles sont peu sensibles, et disparaissent complètement lorsqu'il y a coïncidence entre une crue et les mortes eaux 1.

143. Action comparative du flot et du jusant, - De ce que nous venons d'exposer il résulte que la masse d'eau poussée dans les terres va sans cesse en croissant, pendant la durée ascensionnelle du flot, parce que la section s'élargit toujours à mesure que la pression augmente, tandis qu'au jusant les frottements se faisant sentir sur toute l'étendue du lit, le retour des eaux est plus uniformément réparti. Le volume débité à la seconde par le jusant est donc moins considérable que celui du flot pour les périodes voisines de la pleine mer; il est plus considérable au contraire dans le voisinage de la basse mer ; et il en résulte sur le lit une action de déblai plus énergique pour le jusant que pour le flot, alors même qu'il n'y aurait pas d'eau douce. A plus forte raison doit-il en être ainsi quand la marée se complique d'un courant d'eau douce, susceptible d'augmenter la vitesse à la descente et d'atténuer celle qui se dessine à la montée. C'est là un fait à ne pas perdre de vue, et dont l'importance s'accroît à mesure qu'on remonte le cours du fleuve. La forme des courbes de marée en rend d'ailleurs parfaitement compte.

Elargissements et rétrécissements. Effets probables sur la barre. — Ceci posé, examinons ce qui se passera à l'embouchure d'un fleuve, que pour plus de simplicité nous supposerons arrivé à un régime fixe. Dans ce fleuve qu'on

Consulter à ce sujet une étude de M. Partiot sur le mouvement des marées dans la partie maritime des fleuves. (Paris Dunod, 1861.)

pourait presque appeler hypothétique, nous a dmettons que la marée trouve un lit régulier de section graduée, dans lequel elle monte en conservant à peu près la même vitesse et redescend de même, emportant ainsi en jusant ce que le flot a ap-

porté, augmenté des alluvions fluviales.

Dans ce cours d'eau, où la navigation est évidemment facile, on a sur l'embouchure plusieurs forces en jeu. D'une part : les apports fluviatiles et le cordon littoral tendent à se rejoindre et à former alluvion; puis le vent, qui vient ordinairement de la mer, et les vagues qui, repoussant les matériaux charriés dans l'estuaire, aident à cet effet et tendent à constituer une barre aussi bien que dans les mers sans marée. D'autre part l'influence prédominante du jusant, la chasse donnée par les eaux douces, la pente même du lit qui se continue jusque dans les grands fonds, agissent en sens contraire pour écrêter la barre; et, puisque nous supposons le régime fixé, c'est qu'entre ces forces diverses il s'est établi un état d'équilibre stable, ou tout au moins stable par périodes, dont il est possible de profiter'.

Dans ce fleuve régulier, en un point quelconque, pratiquons un élargissement. Au droit de cet élargissement, la vitesse sera moindre, des dépôts s'effectueront, des bancs prendront naissance, des chenaux plus ou moins sinueux se dessineront; la navigabilité dans le fleuve aura perdu, mais l'état de la barre n'aura eu aucune raison pour empirer, puisque la même quantité d'eau aura passé et repassé sur elle, exerçant toujours son influence conservatrice pendant que les autres circonstances demeuraient les mêmes. Il y a ura un seuil nouveau dans l'intérieur des terres, mais rien de plus à l'embouchure qu'auparavant.

<sup>1.</sup> Notre hypothèse n'est pas tout à fait chimérique et il y a des fleuves qui présentent cet état permanent. Nous citerons notamment la Charente, qui n'a pas varié d'une manière très sensible depuis Louis XIV et qui porte des navires de guerre sur les 20 kilomètres qui précèdent la rade de l'île d'Aix. Les dépôts ont comblé ce qui avait besoin de l'être dans l'estuaire, le jeu des marées et les eaux douces ont maintenu un chenal unique; et, en somme, les conditions de navigabilité y sont bonnes. Elles peuvent être insuffisantes pour les besoins de la marine de guerre de notre époque; mais c'est là une question d'échelle croissante dans les besoins, qui n'empêche pas le régime de s'être spontanément établi et de se maintenir.

Dans ce même fleuve, au contraire, pratiquons un rétrécissement; nous diminuons par cela même la quantité d'eau qui pénétrait dans la partie supérieure du lit, et nous opérons une réduction identique sur celle qui en sort. La vitesse s'accélérera dans le passage rétréci, qui se draguera; mais cet effet, tout local, sera nécessairement accompagné d'une diminution de la puissance affouillante sur la barre; comme les causes de dépôt restent les mêmes, cette barre s'exhaussera. Si donc nous avons gagné sur un point du chenal, nous aurons perdu sur la barre, et l'entrée en rivière sera plus difficile.

Ainsi, dansl'intérêt du chenal, il ne faut pas d'élargissement; et au point de vue de l'exhaussement de la barre les rétrécissements sont un danger. D'où nous concluons que si pour l'amélioration de la rivière, dans sa partie maritime, des rétrécissements sont nécessaires, leurs dispositions doivent être telles que le jeu des marées n'en soit pas amoindri. Et pour entrer plus avant dans cet ordre d'idées, nous ajouterons qu'il faut favoriser l'entrée du flot dans la mesure la plus large à la partie supérieure du lit, au moment du maximum de débit, afin d'emmagasiner la puissance creusante; puis, pendant le jusant, et surtout aux environs de la mer basse, alors qu'on peut en tirer tout le parti possible, diriger cette puissance sur les points les plus avantageux à la navigation.

Tel est à notre sens le rôle que doivent jouer les digues pour ne produire que de bons effets. Elles utiliseront ainsi l'immense force naturelle que la mer met à notre disposition, la seule sur laquelle l'homme puisse agir (d'une manière prompte au moins) parmi celles dont le conflit donne nais-

sance à la barre.

Nous chercherons à présent, par quelques exemples, à établir la justification expérimentale des considérations qui précèdent.

145. Baie des Vays. — La haie des Vays, située sur la Manche à la limite des deux départements du Calvados et de la Manche, près de Carentan, reçoit dans sa partie est deux cours d'eau, la Vire et l'Aure, qui tombent dans la mer par un chenal commun orienté du sud au nord. Par ce chenal,

des caboteurs et des bateaux de pêche pouvaient pénétrer dans les deux rivières, et notamment desservir le petit port d'Isigny situé sur l'Aure.

Vers 1830, on crut bien faire en soustrayant la Vire au jeu des marées, et l'on transforma le pont Vay en un barrage



Baie des Vays.

colusé. La Vire dès lors cessa d'être accessible au flot, et le volume des eaux qui passait et repassait deux fois par jour dans le chenal de la baie s'amoindrit d'autant.

Les conséquences ne se firent pas attendre; ce chenal perdit sa profondeur, et le port d'Isigny vit diminuer graduellement le tirant d'eau des bateaux auxquels il était accessible.

La contre-épreuve fut faite en 1841; on supprima les portes du pont Vay, on plaça dans l'étendue de la baie sur la direc-

#### AMÉLIORATION DES EMBOUCHURES

et quelques années après le mouillage s'ét sous l'influence de ce retour aux forces na plus amoindries mais dirigées. Bien que réal soulle restreinte, cet exemple est des plus ce

dans une baie portant le même nom, et débouche mal du Nord. Son bassin a quatre mille ou quat cents kilomètres carrés de superficie; son volun est de 8 à 10 mètres cubes; et, avec les affluents q mant tout près de l'embouchure, le débit total d'eau donc nom à la mer est à peine de 25 à 30 mètres cubes par s

très large dans le canal du Nord, se prolonge da cres en se divisant en ramifications assez nombreuse d'une, dirigée de l'est à l'ouest, se rétrécit progressive pour devenir la Clyde proprement dite. Près de la hai ramification renferme deux ports, Greenock et Pour l'allesseur, là, elle a 3,000 mètres de largeur environ.

A buit kilomètres plus loin, vis-à-vis Dumbarton, la la cour se réduit à 4,600 mètres; neuf kilomètres plus haut, pabuuir, ce n'est plus que 400 mètres, et enfin à douze kilmètres en amont, c'est-à-dire à Glascow même, 425 mètres soulement. La longueur totale est de vingt-neuf kilomètre

Vers la fin du siècle dernier, de petits bateaux caboteu pouvaient remonter jusqu'à Dalmuir, mais au delà la riviè u était accessible qu'à de simples barques. Pour modifier courat de choses, on construisit des épis submersibles destinés resserrer le courant de jusant, sans arrêter l'invasion du fle l'on obtint une première amélioration. Il y avait toutefe des écarts de régime et une irrégularité qu'on résolut de courger à l'aide de digues longitudinales, qui limiteraient l'epis suivant des alignements dessinant un rétrécissement pr

<sup>1.</sup> Voir l'ouvrage de M. Bouniceau intitulé : Etudes et construction a

gressif. Ce rétrécissement devait être tel que le chenal, large de 212 mètres entre Dalmuir et Dumbarton, n'aurait plus que 40 à 50 mètres à Glascow. Les digues s'arasaient à peu près à mi-marée et isolaient ainsi du lit un espace assez con-

si dérable sur chaque rive de la baie.

On s'aperçut alors (1835) que le rétrécissement était assez fort pour diminuer sensiblement le volume des eaux qui famait le chenal; et, dès ce moment, avec une décision qui fait honneur aux ingénieurs anglais, on se mit à l'œuvre pour l'élargir. Les digues durent s'espacer de 366 mètres à l'œuvre de 92 à Glascow; leur niveau dut s'abaisser duellement à mesure qu'on s'approchait de la mer, pour liter l'entrée du flot; et enfin de puissants dragages aplanent les seuils naturels qui faisaient obstacle au mouvement des eaux.

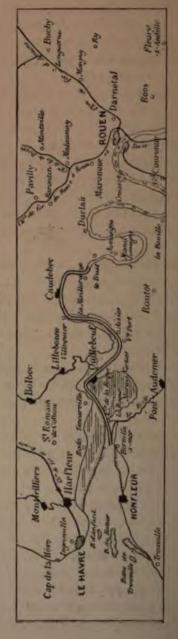
fit disparaître des barrages placés en amont de Glascow, manière à ouvrir la rivière haute au flot et au jusant; des gages continus d'entretien enlevèrent les apports fluvias et marins que ces courants divers pouvaient laisser suber à leur point de jonction.

Poursuivi avec la ténacité britannique jusqu'à nos jours, c diverses améliorations de détail dont nous n'avons pas ous occuper ici, ce programme a abouti aux résultats sui-

vanis.

En 1824, dans les circonstances les plus favorables, les eaux qui venaient à Glascow ne pouvaient pas dépasser tirant d'eau de 3m,35; en 1832, ce tirant d'eau devenait 00; en 1847, 5m,50, et permettait l'accès de bateaux de six à tents tonnes de jauge. En 1866, le port recevait des baux de mille tonneaux, calant 6m, à 6m,50; aujourd'hui scow est un des premiers chantiers de construction navale monde; on y lance des vaisseaux cuirassés, sauf à les enverence de l'appel des eaux, on a complètement donné au jeu des marées, grâce aux dragages persistants qui maintiennent l'énergie de l'appel des eaux, on a complètement transformé l'état naturel entre Glascow et la mer.

LA SEINE MARITIME DE ROUEN AU HAVRE



Échelle de un millimètre et demi pour un kilomètre.

Il convient d'observer toutefois que ce n'est pas la Clyde qu'on a menée à la mer, c'est la mer qu'on a amenée à Glascow; si cette transformation a pu être opérée, ce n'est pas à l'aide des 25 ou 30 mètres cubes de la rivière, mais en utilisant le puissant cours d'eau alternatif que fournit l'Océan. Nous sommes donc, ici encore, en plein accord avec la théorie exposée.

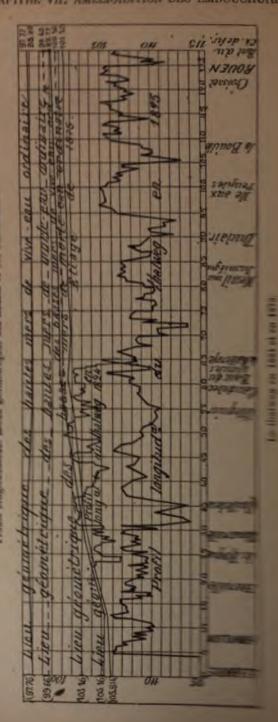
147. La Seine. — La Seine maritime, entre Rouen et le Havre, parcourt environ 125 kilomètres dont nous n'envisagerons ici que la partie aval comprise entre la Mailleraye et le Havre sur 63 kilomètres environ.

Dans cette étendue, qui forme le prolongement de la baie de Seine dans les terres, l'estuaire du fleuve a environ dix kilomètres au droit du Havre, huit à Honfleur, cinq à Berville, quatre vers Tancarville et Quillebœuf; il se réduit à un kilomètres vers Vieux-Port, pour conserver cette dimension jusqu'à Caudebec et la Mailleraye. Au milieu des alluvions de la plaine circule le cours d'eau, dont la largeur à haute mer est celle de la baie jusqu'à Berville et devient 500 mètres à Quillebœuf, 300 mètres à la Mailleraye.

Le profil en long de 1824 (page 144), montre ce qu'était à cette époque la rivière. Assurément les basses mers n'occupaient pas la place qu'elles ont aujourd'hui, puisque sur le profil les hauts-fonds semblent émerger; on se fera une idée de ce qu'était la navigation de la Seine à cette époque, lorsqu'on saura qu'il fallait quatre jours pour aller de la mer à Rouen, que les bateaux employés jaugeaient deux cents tonneaux, et que le taux de l'assurance était de 1/2 0/0. Le chenal était d'ailleurs sinueux, variable d'emplacement et de profondeur, toujours précaire par conséquent.

On se décida à demander à des digues longitudinales la fixation et l'approfondissement du lit; de 1849 à 1876 on endigua la rivière d'une manière presque complète, entre la Mailleraye et l'embouchure de la Risle à Berville. L'espace compris entre les digues dut avoir 300 mètres vers Villoquier, 450 mètres à Quillebeuf, 500 à Tancarville et au-dessous-Pendant la période qui précéda 1866, le sommet fut arasé au

LA SEINE MARITIME
Profit longitudiness. Lieux géométriques des hantes et des lemms merr.



niveau des hautes mers de vive eau; depuis, sur le dernier tronçon avant Berville et partout où des réparations ont été faites, on les abaissa jusqu'à arriver sur certains points à 0°,50 ou 1 mètre seulement au-dessus des basses mers de vive eau.

Le résultat de ces travaux a été considérable pour le port de Rouen : le chenal s'est creusé dans une très large mesure de Berville à la Mailleraye et on voit actuellement naviguer sur la Seine, en choisissant il est vrai leur jour et leur heure, des bateaux de 1400 tonneaux qui y trouvent un mouillage de six mètres. Cette modification du régime s'est traduite par un développement de l'amplitude de la marée; la durée de l'ascension est devenue en moyenne de trois heures trois quarts, alors qu'autrefois elle n'était que de deux heures un quart; les basses mers se sont abaissées de 0m,80 à peu près, signe incontestable que les eaux accumulées dans la Seine s'écoulent mieux et plus vite. On croit avoir constaté toutefois que les hautes mers atteignent un niveau un peu moins élevé que jadis (0m,10 à 0m,20), ce qui laisserait supposer que la marée éprouve une certaine gêne dans son développement maximum.

Ce dernier détail donne à penser que si le volume d'eau de mer qui passe et repasse dans la Seine n'a pas diminué par rapport à ce qui v circulait autrefois, ce volume cependant n'est pas ce qu'il pourrait être, puisqu'à une autre époque le lot montait plus haut. La cause de cette perte relative doit se lrouver dans les endiguements hauts, qui ont provoqué derrière les digues des atterrissements sur une surface de 8400 hectares. On avait compté que ces atterrissements semient vendus aux riverains et que leur prix solderait largement les travaux; mais cette prévision ne s'est pas réalisée. L'Administration a été amenée à admettre que les terrains ninsi conquis appartenaient aux riverains par droit d'alluvion, et elle a dû par suite se contenter d'une plus-value toujours assez difficile à déterminer. L'opération financière n'a donc pas donné ce qu'on en espérait; et cependant elle a motivé cette réduction du jeu possible des marées, c'est-à-dire le sacrifice d'une force utile dont l'avenir aura peut-être besoin.

Cette même idée a fait naître des préoccupations en ce concerne le port du Havre. On s'est dit que si les endigments et les colmatages qui les suivent se développaient core, il pourrait se faire que, le jeu des marées s'atténus devant le Havre, les dépôts fluviatiles et marins prissent un influence plus marquée sur la côte et génassent les approchée ce grand établissement commercial. On s'est arrêté dans la voie des endiguements, et l'on exécute aujourd'hui le canal maritime de Tancarville au Havre.

L'exemple de la Seine nous montre donc un succès incentestable, bien que moins complet que sur la Clyde. L'amél interation est réelle, mais elle ne s'étend pas à toute la rivière, le barre comprise, vraisemblablement parce que l'endiguement très élevé, a repris au jeu des marées en largeur ce qu'il donnait en profondeur, diminuant ainsi le bénéfice qu'eût procuré une plus grande liberté laissée au flot.

148. La Loire. — La Loire maritime a été l'objet de le tatives d'amélioration depuis le milieu du siècle dernier, da un ordre d'idées qui n'est pas celui que nous indiquions (caracteriste à l'heure.

Dès 1755 on barrait des bras secondaires pour les livres l'agriculture, et cette conquête définitive sur le domaine la marée contribuait à diminuer la capacité de l'estuaire.

Pendant la première moîtié du siècle actuel, de 1836 à 18 ou établit sur trois points voisins de Nantes des digues lon atudinales arasées à 1 = 00 ou 1 = 50 au dessous du niveau hautes mers de vive eau, laissant entre elles un chenal trois ceuts mètres de largeur. Il s'ensuivit un approfondisment des seuils peu sensible, mais que cependant on pronstater.

De 1859 à 1866, entre Nantes et la Martinière, sur seize lomètres de longueur, l'endiguement fut repris et complété : la largeur du chenal fut fixée à deux cents mètres à la so ce de Nantes, à trois cents mètres à l'extrémité d'aval. Les no veux ouvrages furent généralement arasés à la hauteur de marées de vive eau cotées 3º 30 à l'échelle de Saint-Nazaire et le resserrement qui s'ensuivit, aidé de quelques dragages

amena promptement des effets locaux satisfaisants. Dix ans après, on estimait à 0<sup>m</sup>,80 la quantité dont les seuils s'étaient abaissés dans le chenal artificiel et à cinq millions de mètres cubes le volume des dépôts déblayés; en même temps, toute-fois, il se formait d'abondants dépôts derrière les digues, et d'après les ingénieurs « la tradition parfaitement certaine établit que ces alluvions ont commencé à se former à partir du début des travaux, et qu'elles se sont accrues progressivement à mesure de l'avancement des digues. »

Pendant que ce chenal artificiel de Nantes à la Martinière s'améliorait, le chenal naturel entre la Martinière et Paimbœuf subissait des modifications moins heureuses. On constatait que les hauts fonds s'élevaient et se renforçaient en longueur; et en résumé, autant que les calculs permettent d'en juger, si de 1851 à 1877 les entraînements du courant vers la mer peuvent être évalués à 13 millions de mètres cubes, l'ensemble des dépôts ne doit pas avoir été inférieur à 23 millions.

Les ingénieurs n'ont pas d'hésitation sur la cause: « Ces alluvions paraissent être, disent-ils, la conséquence des travaux d'endiguement... Le courant n'a point assez de puissance pour les enlever et rétablir la profondeur qu'il maintenait autrefois... Cette impuissance provient de ce que le volume de la marée qui remonte en amont est moins considérable qu'autrefois, et que, par conséquent, la force entraînante est moins grande. » Depuis le moment où cette compensation fâcheuse a été constatée, le mal ne s'est pas arrêté; et, tout en opérant des dragages dans le fleuve, on construit aujourd'hui le canal de la Basse-Loire entre la Martinière et l'entrée du bras de Carnay, c'est-à-dire Paimbœuf, de façon à remplacer le fleuve libre par une voie artificielle.

Trouvera-t-on dans cette solution le moyen de satisfaire aux besoins de l'époque? Il faut l'espérer; et néanmoins on ne peut se défendre d'une certaine appréhension, lorsqu'on voit un ingénieur expérimenté qui a étudié la Loire à plusieurs reprises, M. Bouquet de la Grye, à la suite d'une ntission hydrographique qui date de 1881, constater le fait suivant: « La barre extérieure du fleuve s'est élevée, dit-il,

#### 148 CHAPITRE VII. AMÉLIORATION DES EMBOUCHURES

de 0<sup>m</sup>70 depuis 1864'; elle constitue actuellement une gêne pour l'entrée des navires; il est probable que, dans quelques années, sa hauteur augmentera encore; dans ce cas il y aura danger pour les grands navires à venir de St-Nazaire. »

Nous ne pensons pas que l'on puisse s'étonner de ce qui se passe à l'embouchure de la Loire. Avec les apports considérables de sable qui descendent de la vallée, avec les vases que charrie le flot, il y a nécessairement un mélange incessant et un dépôt des matières promenées, dans le large lit qui s'étend de Couëron à Saint-Nazaire et même au delà. Un état d'équilibre s'était établi ou tout au moins tendait à s'établir autrefois, alors que le flot, par les nombreux chenaux qui débouchent à la Loire, se répandait librement dans tout le pays (notamment dans le lac de Grand-Lieu). Avec le jusant toutes ces eaux emmagasinées, grossies des eaux douces, faisaient retour à la mer, et façonnaient le lit suivant un gabarit approprié à leur volume. Aujourd'hui, ce volume n'est plus le même; les conquêtes agricoles, les travaux de desséchement, les resserrements du lit, ont appauvri le débit quotidien; le passage a pu se restreindre avec d'autant plus de facilité que les endiguements pratiqués à l'intérieur des terres ont jeté plus vite à l'embouchure les matières empruntées aux montagnes. Tout concourt donc à aggraver la situation à la jonction des eaux douces et des eaux salées; si l'on déplace le point où s'opère cette jonction, on déplacera le mal, on ne le guérira pas.

Nous ne prétendons nullement ici que les intérèts de la navigation doivent être prépondérants, et empêcher la réalisation de projets qui ont, eux aussi, leur raison d'ètre; nous avons voulu seulement faire saisir la cause d'un changement de régime constaté, et justifier ainsi la proposition que nous avons émise au point de vue de l'action conservatrice du flot et du jusant, sous laquelle la barre doit se produire dans les mers à marée comme dans les mers sans marée.

<sup>1.</sup> Chronique des Annales des Ponts et Chaussées, octobre 1882.

149. Rivières de la côte Landaise et Sénégal. -Mais si la condition de ménager, d'augmenter même cette influence est nécessaire, on ne saurait dire qu'elle soit suffisante, Certains cours d'eau rencontrent en effet des alluvions marines si abondantes que le cordon littoral devient la force dorninante, et déplace l'embouchure d'une manière-incessante. Nous en avons la preuve dans les rivières de la côte Landaise qui toutes ont vu leur embouchure s'obstruer ou reculer vers le Sud, sous l'influence des dunes qui ne sont, elles aussi, qu'un cordon littoral dont les dépôts sont trans-Portés par le vent. Là, il est évident que l'action de la marée Peut être plus dangereuse qu'utile, et le mal paraît sans remède. Si l'on était tenté de croire que le peu d'importance des petites rivières dont nous venons de parler est la cause de leur obstruction, sans parler de l'Adour qui a subi le même sort, nous irions chercher un exemple dans une des colonies françaises, où le Sénégal, un grand fleuve cependant, éprouve un déplacement identique. Il suffit de jeter les yeux sur la carte marine 1216 pour reconnaître que ce fleuve, qui coule dans une direction générale Est et Ouest, s'infléchit brusquement en approchant de la côte pour obéir au cordon littoral, et vient subir à sa sortie dans la mer l'influence des dépôts marins, sous forme d'une barre qui change constamment d'emplacement et sur laquelle la mer brise avec violence. C'est le même phénomène que dans le golfe de Gascogne, l'échelle seule a varié; mais, dans un cas comme dans l'autre on ne voit pas de possibilité d'y échapper, et la lutte ne semble pas à tenter.

50. La Gironde. — D'autres fois cette lutte est possible, tout en demeurant incertaine; tel paraît être le cas de la Gironde, où les travaux d'amélioration ont toujours eu et conservent même aujourd'hui le caractère d'essais plutôt que celui de l'application d'un système.

La situation est difficile, en effet, sur la Gironde, et les

hésitations bien justifiées.

A l'extrémité aval se trouve une mer très souvent mauvaise qui, depuis de longues années, émiette son rivage et en disperse les débris sous forme de sables ou de vases. La plus grande partie des sables concourt à former les dunes, mais une certaine fraction est aussi, sans nul doute, transportée par le jeu des marées, de la mer à l'intérieur, et de l'intérieur à la mer, suivant l'intensité plus ou moins grande des vents et des courants.

La mer et les matériaux qu'elle charrie pénètrent ainsi dans la Gironde et en ressortent par une passe de 4,500<sup>m</sup> de largeur entre la pointe de Grave et Royan, où les courants prennent une violence extrême, pour remplir ou vider le vaste estuaire qui s'étend en amont jusqu'au bec d'Ambez, et présente une largeur de 10 kilomètres vis à vis Talmont, de 5 kilomètres à Pauillac et de 3 à Blaye, avec une longueur totale de 70 kilomètres.

Au fond de cet estuaire tombent deux rivières, la Dordogne et la Gironde, qui sont également soumises aux alternatives du flot et du jusant sur une grande longueur, et par lesquelles la navigation maritime et la navigation fluviale se réunissent.

Cette vaste baie se trouve donc alimentée à l'aval par la mer, à l'amont par deux rivières; elle reçoit les alluvions marines et les dépôts fluviatiles, les grandes marées et les inondations lui apportent successivement un important tribut qu'elles promènent; et sous l'empire de ces forces intermittentes et variées, il est hien difficile que les chenaux aient de la fixité. Où est la barre, d'ailleurs, dans ce milieu mobile? Il y a, du bec d'Ambez jusqu'à Royan, une transformation lente qui ne permet pas de saisir un point de passage parfaitement marqué du régime fluvial au régime maritime, et l'on se demande par où le problème peut s'attaquer. Cependant, si l'on tient compte de ce que, de Pauillac à la mer, les navires de commerce trouvent toujours un chenal suffisant, tandis qu'il n'en est pas de même entre Pauillac et Bordeaux, on sera porté à placer

<sup>1.</sup> La tradition fait connaître qu'autrefois l'île de Cordouan tenait à la terre ferme et, dans les derniers siècles, on a vu progressivement augmenter la distance qui l'en sépare. Brémontier rapporte le fait, ainsi que d'autres qui confirment cette destruction de la côte, destruction vérifiée et expliquée depuis, notamment par M. Delesse dans son ouvrage Lithologie du fond des mers, page 300.

le centre de la barre à l'embouchure des deux rivières dans la baie, c'est-à-dire au bec d'Ambez. Là, en effet, la carte accuse un changement assez marqué. En amont ce sont deux rivières à lit régulier, en aval c'est un estuaire primitivement beaucoup plus large, qui s'est rétréci de lui-même par la formation d'îles étagées jusqu'à Pauillac, et qui sont ensuite remplacées par des bancs plus ou moins élevés, mais toujours submersibles. Il y a donc à l'embouchure commune de la Dordogne et de la Garonne un effet maximum, car c'est au bec d'Ambez qu'est placé d'habitude le seuil le plus haut. Ce seuil en 1768 ne laissait à basse mer que 0<sup>m</sup>,50 de profondeur et a toujours été considéré comme la grande difficulté à surmonter entre Borleaux et la mer 1.

Aussi, de la mer à Pauillac, s'est-on borné à s'efforcer de conserver ce que l'on a, avec ses avantages et ses inconvénients. On défend la pointe de Grave pour empêcher la formation d'une nouvelle entrée dans la Gironde au sud de l'embouchure actuelle, et on maintient ainsi la rade du Verdon et le cap qui la protège contre des érosions toujours menaçantes.

Au bec d'Ambez on a été plus ambitieux; on a voulu creuser le lit, et pour y arriver on a construit dans le bras de Macau, en tête de l'île Cazau, entre cette île et la rive gauche, une digue basse dont l'effet devait être de jeter le jusant dans l'autre bras à mer basse, avec plus de force et suivant une meilleure direction. Arasée au-dessous de l'étiage, la digue ne pouvait pas d'ailleurs nuire à l'introduction du flot et au fonctionnement simultané des deux bras pendant toute la durée de la mer montante. La pensée dominante du travail était de mieux réunir les deux courants alternatifs dans un même chenal, et d'en obtenir ainsi l'approfondissement.

On reproduisait là ce qui avait été pratiqué un peu en amont sur les seuils de Bassens et de Montferrand, et avait réussi à y assurer une profondeur de 2<sup>m</sup>,60 à 2<sup>m</sup>,80 à mer hasse. Ces travaux, au bec d'Ambez, semblent avoir égale-

<sup>1.</sup> Tire de l'exposé des motifs du projet de loi sur l'amélioration de la Garonne maritime et de la Gironde supérieure, présenté à la chambre des Députés sous la date du 9 avril 1881.

ment produit un heureux effet, car en 1867 et en 1878 mouillage minimum y a été de 3°,00, bien qu'on ait consta en 1869 un relèvement qui a réduit la profondeur à un mètr

Vraisemblablement on n'a pas trouvé tout d'abord dans système les garanties nécessaires, car la chambre de conmerce de Bordeaux a demandé la mise à l'étude d'un prode canal maritime entre Bordeaux et la rade de Trompelor un peu en aval de Pauillac; puis, sur l'avis d'une commissi spéciale, l'administration est revenue à l'ordre d'idées de nous avons parlé tout à l'heure. Elle exécute aujourd'hui projet consistant à compléter et exhausser les digues, a cinder les rives de manière à leur donner une courbure réglière, ouvrir à la drague des passes que le courant n'aplus qu'à entretenir. On espère, en offrant ainsi au flot ell jusant un chenal unique et rationnel, muni de rives artificies concordantes, les réunir sur la même direction, faire di raître ainsi l'instabilité du thalweg et assurer sa profond en

Nous ne pouvons nous dispenser de mentionner ici qua chambre de commerce de Bordeaux, appelée à se prono a a nouveau, tout en émettant l'avis qu'il y avait utilité publi à exécuter les travaux, a tenu à déclarer en même ter qu'elle n'assumait aucune responsabilité en ce qui conce l'appréciation des moyens techniques indiqués au projet; réponse à cette réserve, les ingénieurs ont reconnu qu'il covenait de marcher avec prudence dans l'exécution, en obsvant à chaque pas les effets obtenus.

Nous étions donc fondé à dire que sur la Gironde on éta plutôt en face d'essais que de résultats. Il convient en con séquence de suivre cette grande expérience avec tout l'intér qu'elle mérite; elle fournira, nous n'en doutons pas, des es seignements précieux, mais on doit s'attendre à des lutte prolongées et à des effets imprévus. Ce n'est jamais sans egrands efforts que l'on peut arriver à discipliner des force naturelles agissant sur une aussi immense échelle; comm nous l'avons déjà vu, il faut dans les dispositions à adopt une mesure parfaite, si l'on veut graduer le chenal et m déterminer aucun des effets nuisibles que donnent parfois l'rétrécissements et les élargissements. Dans l'état natur-

avec le temps, cet état d'équilibre arrive quelquefois à s'établir de lui-même, mais lorsque la main de l'homme intervient, lorsque surtout on veut obtenir beaucoup et promptement, on doit compter sur une résistance difficile à maîtriser.

151. Résume sur les embouchures dans les mers à marées. — En résumé, les exemples cités montrent la vérité des considérations que nous avons émises au début.

La barre des sleuves est, pour les mers à marées comme pour les mers sans marées, l'effet de la rencontre des dépôts fluviatiles et des dépôts marins; ici, toutefois, le jeu de la marée, au milieu des forces qui se font sentir à la côte, prend le premier rôle et exerce une action prépondérante sur le chenal qui prolonge le lit du sleuve.

Si la marée apporte avec elle plus d'alluvions qu'elle ne peut en remporter, la lutte devient trop inégale, l'homme est

désarmé, et la voie artificielle est indiquée.

Si au contraire les courants alternatifs fournis par la mer sont assez peu chargés pour conserver leur puissance affouil-lante, il y a lieu de développer leur action autant qu'on le peut, en emmagasinant, au flot, le plus grand volume possible, et en le restituant au jusant dans un chenal disposé d'accord avec les tendances naturelles. Cette condition est double, ainsi qu'on le voit; elle implique des resserrements qui se bornent à la partie basse du lit, et une compensation par des élargissements de la partie haute, pour favoriser dans la mesure la plus large l'introduction du flot.

Dans un cas intermédiaire le succès devient problématique, et l'entreprise ne doit être tentée que si de puissants

intérêts en font une loi.

<sup>1.</sup> Il y a d'autres exemples de belles embouchures, que l'on entend parsois mettre en avant. Ce sont la Mersey où se trouve Liverpool, le Tage où se trouve Lisbonne, et la Tamise avec le port de Londres. Mais si l'on examine les curtes marines qui s'y rapportent, on reconnaît que Liverpool et Lisbonne sont non pas sur une rivière mais bien sur une baie intérieure que le jeu des marces entretient, et dans laquelle le cours d'eau douce a disparu. Peut-tre la situation de Londres n'est-elle pas absolument identique, mais il s'en faut de peu; car ce n'est assurément pas le cours d'eau de la Tamise qui suffit à entretenir le vaste estuaire qui aboutit à Londres et conduit même au Port militaire de Chatam.

152. — Considérations générales sur les travaux à faire à l'embouchure des fleuves. — En somme, à l'embouchure des fleuves, quelle que soit la mer dans laquelle ils tombent, il y a un phénomène de dépôt qui est inévitable et ne peut être combattu que par une force naturelle du même ordre, se présentant en auxiliaire. Si cette force est un courant littoral, il faut lui mener le fleuve et ses dépôts; si c'est un jeu de marées, il faut en développer l'action; si cet auxiliaire menace d'être plus nuisible qu'utile, il convient de recourir à là voie artificielle.

En tous cas, il ne faut pas croire que ce soit avec le plus grand courant que se trouvera nécessairement le meilleur chenal. Nous avons vu ce fait établi pour le Danube; nous pouvons en citer un autre exemple d'autant plus concluant qu'il est au sommet de l'échelle, nous voulons parler du fleuve des Amazones.

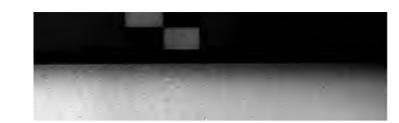
Ce grand fleuve de 4800 kilomètres de longueur a un bassin de quatre à cinq millions de kilomètres carrés<sup>1</sup>. Il reçoit deux cents rivières dont six aussi grandes que luimème, et trente fortes comme nos plus grands fleuves. Il roule à la mer des torrents d'eau douce tels que la salure des eaux est diminuée à la côte sur une grande étendue, et constitue ainsi le système hydraulique le plus puissant qu'il y ait au monde. Cet immense cours d'eau se jette dans l'Océan Atlantique par deux branches, celle du Nord ou de Macapa et celle du Sud dite de Para (voir la carte marine n° 4104).

La bouche de Macapa, seule et véritable entrée de l'Amazone au point de vue de l'écoulement des eaux, est très large, encombrée d'îles et de bancs de vase sans cesse déplacés. Elle n'est pas pratiquée par la navigation qui n'y trouve aucune stabilité et par suite aucune sécurité. La bouche de Para, au contraire, infiniment plus étroite, qui ne communique avec l'autre que par un canal resserré, qui ne reçoit que deux des affluents de la vallée, évite les énormes alluvionnements qui se font sentir à Macapa, et le jeu des marées y entretient un chenal fixe et régulier comme elles. Il y a donc partout un

<sup>1.</sup> La Loire a un bassin de 120,000 kilomètres carrès.

choix à faire, et le problème de l'embouchure des fleuves est un de ceux qui peuvent le plus mettre en jeu la sagacité de l'ingénieur.

Encore devons-nous faire observer que nous n'avons envisagé, dans tout ce que nous venons de dire, que la création d'un chenal, c'est-à-dire l'accroissement du tirant d'eau. Mais cette considération est loin d'être la seule, en matière de navigation maritime. Il ne suffit pas à un navire d'avoir de l'eau sous sa quille, il faut également que la passe qui la lui procure ne le jette pas pendant les gros temps sur des écueils voisins; il faut qu'il trouve de distance en distance des mouillages abrités où il puisse attendre une marée ou un vent favorable. Il convient enfin que la question des droits acquis intervienne, et que les transformations que l'on projette ne bouleversent pas les intérêts commerciaux pour lesquels la navigation est faite. En un mot, la question est une des plus complexes, en même temps qu'une des moins connues ; chaque cas particulier exige une observation attentive, les conseils des hommes pratiques; et à notre avis elle est une de celles où il est le plus permis de mettre en pratique le vieil adage : « Dans le doute, abstiens-toi. » Nous n'insisterons donc pas davantage, heureux si nous avons pu faire saisir les idées d'ensemble qui paraissent hors de conteste, et indiquer en partant de ces idées, à défaut de ce qui est à faire, ce qu'il convient d'éviter.



•

•



# TROISIÈME PARTIE

# DES RIVES DES COURS D'EAU

# DES INONDATIONS

CHAPITRE HUITIÈME : DEFENSE DES RIVES. QUAIS

CHAPITRE NEUVIÈME : LES CHEMINS DE HALAGE. LE HALAGE. LA DÉLIMITATION DU LIT

CHAPITRE DIXIÈME : DES INONDATIONS

CHAPITRE ONZIÈME : PREVISION ET ANNONCE DES INONDATIONS



#### CHAPITRE VIII

# DÉFENSE DES RIVES DES COURS D'EAU. QUAIS

#### SOMMAIRE:

1 1 -- Defense des rives : 133. Son utilité. - 154. Diverses faces de la ques-

12. — Défense] des rives au point de vue technique : 155. Distinction à faire.

156. Partie située au-dessus de l'étiage. — 157. Perrés maçonnés. —
153. Perrés en pierre sèche. — 159. Perrés à plat. — 160. Gazonnements. —
161. Fascinages et clayonnages. — 162. Partie située au-dessous de l'étiage. —
162. Fondation sur enrochements. — 164. Fondations avec pieux, palplanches et enrochements.

 3. — Défense des rives au point de vue administratif : 165. Historique de la plupart des défenses. — 166. Organisation de défenses de rives nouvelles.
 — 167. Situation à prendre à propos des défenses de rives existantes. — - 167. Situation à prendre à propos des défenses de rives existantes. - 168. Cas où les riverains sont d'avis de revenir à la loi. - 169. Cas où les

riverains ne veulent pas sortir du statu quo. - 170. Indications à ne pas perdre de vue.

perdre de vue.

4. — Quais: 171. Quais inclinés. — 172. Cales destinées à la construction des trains. — 173. Cales destinées au débarquement des pièces de charpente flottées. Cales destinées au débarquement des bois de chauffage. — 174. Quais droits ou verticaux. — 175. Mur de quai sur terrain dur. — 176. Manière de tenir compte de la poussée des terres. — 177. Détails d'exèrntion. — 178. Mur de quai sur un sol incompressible et affouillable. — 179. Sol incompressible recouvert d'une couche compressible peu épaisse. — 180. Couche compressible épaisse. — 181. Augmentation de résistance du terrain d'aval. — 182. Pieux de retenue. — 183. Plate-forme supportant les remblais. Remblais spéciaux. — 184. Barbacanes. — 185. Profils courbes des murs de quai. — 186. Constitution des terrains vaseux. — 187. Consolidation du sol de vase indéfinée, en vue du poids des quais. — 188. Impossibilité de constituer le terre-plein par les moyens ordinaires. — 189. Effets de destruction. — 190. Idée de principe pour la construction de quais dans les terrains vaseux. — 191. Application de l'idée de principe. — 192. Effet des soullles. — 193. Quelques détails d'exècution. — 194. Prix. — 195. Conditions essentielles à remplir.

Figures:

#### Figures:

Revêtement en fascinage (Hollande), art. 161. — Type de perré de la Marne art. 164. — Fondation sur pieux et bordages, art. 164. — Revêtement en auccissons et pierres plates, art. 164. — Têtes de pieux empâtés dans le beton, art. 180. — Plate-forme supportant les remblais, art. 183. — Barbacanes, art. 184. - Construction de quais dans des terrains vaseux, art. 191.

#### Petites planches:

Quais de Paris, profils en travers, art. 175. - Construction de quais dans des terrains vaseux, art. 191.

# § lor

#### DÉFENSE DES RIVES

153. Utilité de la défense des rives. — Nous avons yu propos de l'état naturel des cours d'eau, comment se forme les alluvions aux dépens des rives, et comment se modifien lit et la pente sous l'effet des variations de la berge. Plus ta nous avons examiné comment on pouvait dans une certai mesure, au moyen de digues qui fixent le régime de la riviè rétablir un chenal régulier. Ce mal naturel et le remède i apporter font concevoir facilement, dès lors, l'intérèt qui rattache à la défense des rives, puisque cette défense a pobut de maintenir la situation, si elle est satisfaisante, qua une cause quelconque tend à l'altérer. C'est donc en proption des inconvénients que présentent les coudes, les élarg sements de lit et les hauts-fonds qui s'ensuivent, que la na gation est intéressée à protéger les berges.

L'intérêt des riverains n'est pas moins en jeu. C'est leur priété qu'atteignent les érosions; or, comme le sol des vallé est généralement riche, comme il prend parfois sur le bo des rivières navigables une grande valeur industrielle, il a rive fréquemment que les défenses de rive sont réclamées avinsistance et donnent lieu à des offres de subvention dont conséquence est un travail à frais communs entre l'État et d particuliers. C'est presque toujours, dans ce cas, l'admin tration qui se charge de l'étude du projet et de son exécutic en sorte que la question se présente sous plusieurs faces.

154. Diverses faces de la question. — Il y a un of technique qui est le premier à envisager, puisque c'est de l'que dépend avant tout le succès de l'opération.

Il y a un côté administratif qui a également son impetance, car les défenses de rive ont surtout besoin d'un entrien intelligent, ce qui entraîne la nécessité d'une définition

nette des responsabilités pour le présent et pour l'avenir.

Dans certains centres industriels, les revêtements de la rive
prennent une importance spéciale des mouvements commerciaux qui s'y pratiquent; ils deviennent alors des quais, ouvrages qui doivent s'étudier à part.

A la question des rives se rattache la servitude du halage

qui s'exerce sur la rive, à partir du lit de la rivière.

Enfin, ce contact immédiat du cours d'eau et des propriétés privées entraîne souvent des contestations de la nature la plus délicate. Ces contestations trouvent leur solution à la suite de délimitations du lit, opérées par l'autorité administrative sur la proposition des ingénieurs, qui se trouvent ainsi prendre le premier rôle dans cette épineuse recherche qu'on appelle délimitation du lit d'un cours d'eau.

Nous étudierons donc successivement :
Les défenses de rive au point de vue technique,
Les défenses de rive au point de vue administratif,
Les quais,
Les chemins de halage,
Et la délimitation des cours d'eau.

### § 11

# DEF ENSE DES RIVES AU POINT DE VUE TECHNIQUE.

Distinction à faire. — La défense des rives d'un cours d'eau s'exerce sur deux parties bien distinctes, celle qui est au-dessus de l'étiage et celle qui est au-dessous. La première est exposée à des alternatives de sec et d'humide, de gelée et de soleil; elle reçoit d'ailleurs une certaine circulation et s'entretient assez facilement, tandis que la seconde est généralement inaccessible et invisible, tout en servant de support à l'autre; de là des besoins essentiellement différents qui conduisent à une étude séparée.

156. Partie située au-dessus de l'étiage. — Sur cel portion de la rive, visible et accessible la plus grande par de l'année, les procédés de défense peuvent varier à l'infin suivant la destination de l'ouvrage, suivant les ressource dont on dispose et les matériaux qu'on trouve à portée. Cepe dant, il faut le reconnaître, dans nos pays, la pierre est d'hébitude l'élément le plus employé et c'est aux perrés que, plus souvent, on a recours.

157. Perrés maçonnés. — Ces perrés peuvent être maçonnerie à bain de mortier. Ils se composent alors de revêtement de 0<sup>m</sup>,30 à 0<sup>m</sup>,60 d'épaisseur, tantôt unifor tantôt plus épais à la base qu'au sommet, auquel on de une inclinaison de 4 à 1,50 de base pour 1 de hauteur revêtement s'appuie sur le sol naturel, quelquefois direment, le plus souvent par l'intermédiaire d'une couche gravier ou de béton. Une assise continue en pierre de tail 1 couronne et raccorde la rive avec le sol sur lequel s'excela circulation. Quant au parement, il est formé parfois moellons réguliers dont les assises sont horizontales, habitalement de maçonneries à joints irréguliers; mais, en somm c'est toujours une cuirasse rigide et à peu près lisse, qui eveloppe le terrain à protéger et dont tous les points sont lipar une solidarité qui a ses avantages et ses inconvénients.

Les avantages sont évidents.

Une fois le perré maçonné construit, la consolidation de le berge est complète, absolue, et l'ouvrage se défend de lui même.

La paroi reste propre, unie, facile à entretenir dans sa partie visible, et aisée à nettoyer.

Les bateaux peuvent y toucher sans en souffrir, pour pen que le parement soit convenablement dressé.

Enfin, et ceci a son importance aux abords des villes, l'aspect extérieur en est toujours satisfaisant.

Les inconvénients, d'autre part, sont assez graves :

Le prix (six à dix francs le mètre carré suivant le pays) donne à la dépense une importance considérable.

La vitesse que prennent les filets liquides, en glissant sur

la surface unie qui a remplacé la rive, leur permet d'acquérir une puissance d'érosion qui se manifeste là où le perré s'arrête, c'est-à-dire à sa fondation ou à sa limite aval.

Quand la maçonnerie est étanche les eaux pluviales déterminent, entre le revêtement et la terre qu'il recouvre, une

pression qui pousse au vide.

Enfin les alternatives de sec et d'humide, ainsi que les gelées, tendent constamment à détruire l'étanchéité des maçonneries et y réussissent nécessairement avec le temps, en quelques places au moins. Il se forme alors, par les joints dégradés, des vides que l'on n'aperçoit pas tout d'abord, et qui s'augmentent peu à peu. La maçonnerie s'y trouve en porte à faux et le mal demeure inconnu jusqu'à ce que ces vides soient assez grands pour que le poids de la maçonnerie surpasse l'adhérence des mortiers, et fasse tomber les pierres dans l'érosion cachée. Alors l'avarie est grave, et si elle s'est produite en temps de gelée ou de crue, le mal peut prendre de fortes proportions.

y a donc lieu de peser ces diverses considérations, au point de vue de la destination des défenses de rive, avant

de se décider en faveur des perrés maçonnés.

sè che sont plus économiques (quatre à six fr. le mètre carré) et n'ont pas les mèmes inconvénients; si les matériaux sont de bonne qualité, la gelée ne les attaque pas; leur perméabilité permet aux eaux qui imprégnent les terres, de s'écouler à la rivière sans exercer de poussée; si en outre ces perrés sont établis sur un lit de graviers perméables de grosseur décroissante, au travers duquel l'écoulement s'opère sans entraînement de matières empruntées à la rive, on verra disparaître la principale cause des affaissements. Enfin, dans le cas où un vide viendrait à se produire le mouvement du parement s'opérerait dès le principe sur une faible échelle, puisque les perrés ne sont pas solidaires; la défense, alors, bien que gauchie, resterait continue et le mal ne se propagerait qu'à la longue.

La donc où la défense des rives n'a pas d'exigences spé-

ciales, motivant les perrés maçonnés, on se contentera perrés en pierre sèche établis sur un lit de gravier, entre niveau de l'étiage et celui des crues ordinaires, car c'est que se produisent d'habitude les érosions. On leur donne une inclinaison moins roide que celle des perrés maçonnés et qui généralement ne dépassera pas 1<sup>m</sup>,50 de base pour 1 de hauteur. On ne s'alarmera pas d'ailleurs, si les joints se raissent de mousse et de végétation, car il en résulte une traine consolation et une demi-étanchéité qui, sans empê les le retrait des eaux, est un obstacle de plus à l'entraîne en des terres.

Les maçonneries séront conduites avec soin, les moe lons placés normalement à la surface, bien assis les uns sur les autres, et sans cales en parement. On obtiendra ainsi un entre qui sera dans les meilleures conditions de durée.

encore assez coûteux; lorsque l'on a, et le cas se préssouvent, de très longues défenses à réaliser en rase campas on s'efforce de diminuer encore le cube des moellons, en formant qu'un mince revêtement d'une seule pierre possiblet, que l'on fixe à la rive à l'aide de la végétation. C'es qu'on appelle, dans certaines régions de la vallée de la Lordes perrés à plat.

Pour les exécuter, après avoir donné à la berge l'inclinson qui convient à sa nature, et qu'on juge sur les parties nattaquées, on y place des moellons, les uns à côté des autre et l'on plante dans les joints de minces boutures d'un arbri seau du genre saule, qui pousse naturellement sur les sable de la Loire. Faites en saison convenable, ces boutures fixent à la rive, leurs racines s'enchevêtrent avec le sol et relient les pierres; il en résulte un ensemble inattaquable, l'on a soin de l'entretenir. Cet entretien consiste simplemen à couper de temps à temps les arbustes, de façon à les maintenir en buisson, et à n'y laisser jamais venir aucune tige maîtresse. Sans parler, en effet, de la gêne qu'imposerait ur arbre au halage, on conçoit que cet arbre, dont les branches seraient au moment des crues exposées au courant, produirai

aux fascines seules ou aux paniers bourrés de gravier. On en tapisse simplement la rive, quand on n'a pas à craindre d'érosions profondes; on les dispose au contraire par couches horizontales si l'on veut remblayer une rive fortement corrodée. Dans l'un et l'autre cas, les fascines sont reliées entre elles et au sol à l'aide de piquets clayonnés, et l'on attend du temps et des dépôts la consolidation du système. Toutefois, si la végélation ne vient pas en aide à la liaison, comme cela a lieu dans les eaux salées ou saumâtres, le revêtement dure peu et nécessite un entretien dispendieux.

Partie située au-dessous de l'étiage. - Ces divers revêtements n'auraient qu'une durée très limitée, s'ils s'appuyaient à leur partie inférieure sur une couche affouillable dont la corrosion amènerait dans la partie supérieure un mouvement de descente. Le fait est évident pour les perrés maconnés; pour ceux que la végétation fixe à la rive, on conçoit qu'au bout d'un temps plus ou moins long les racines des arbustes doivent se dénuder et cesser d'adhérer au sol. Une fondation stable est donc indispensable aux défenses de rive.

3. Fondation sur enrochements. — Pour la réaliser recours le plus souvent aux enrochements à pierre per-

longitudinales en rivière construites en enrochements, me défense de rive est, en quelque sorte, une demi-digue; rappellerons seulement :

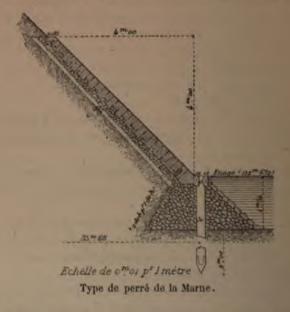
les autres en arrière, suivant le profil qu'indiquent des plus ou des essais, en tenant compte d'un enfouissement

Partiel nécessaire à la stabilité de la masse ;

pierre perdue, avant d'asseoir sur eux des ouvrages rigides non susceptibles de déformation. Cette considération entraîne généralement un délai sinon d'un an, au moins d'une saison pluvieuse, entre l'exécution d'une fondation à pierre perdue et celle des maçonneries qui doivent la surmonter;

Qu'il y a lieu de suivre par des sondages les mouvements de la masse, et de la recharger à mesure qu'elle se déforme, en employant des matériaux gros et surtout d'une forte densité.

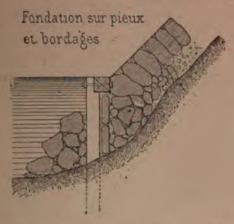
Toutefois, on n'est pas toujours maître d'attendre le tassement d'un massif d'enrochements pour construire un perré; on ne dispose pas toujours d'un espace suffisant pour laisser les pierres prendre leur talus naturel. A la sortie d'une écluse par exemple, les éclusées amènent d'assez forts courants dont il faut bien combattre l'effet dès qu'il se fait sentir: Là encore le chenal ne laisse pas toujours au-dessous de l'étiage la pos-



sibilité de donner de la base aux enrochements; en pleine rivière même, il arrive souvent qu'il faut agir sans délai pour prévenir des avaries graves aux bateaux ou aux ouvrages.

164. Fondations avec pieux, palplanches et enrochements. — On obtient alors artificiellement la fixité du pied des perrés au moyen de pieux et de palplanches; parfois même, si le terrain pousse beaucoup, à l'aide de pieux jointifs.

Pieux et palplanches doivent être assez longs pour descendre jusqu'au dessous des affouillements possibles, et pour résister à la poussée du revêtement, en tenant compte de ce qu'on peut placer d'enrochements en soutien, du côté du courant.



Parfois on bat deux piles de pieux parallèles reliées l'une à l'autre, et entre lesquelles on place un massif de moellons sur lequel s'appuie le pied du perré. On a ainsi une base susceptible de résister à la pression comme à la poussée et de répartir uniformément les efforts sur un sol un peu mou par exemple. Ce procédé s'emploie encore de préférence, si les matériaux dont on dispose fournissent des piquets plutôt que des pieux c'est-à-dire des éléments qui résistent plutôt par leur nombre et leur solidarité que par la fiche de chacun d'eux. Si l'on est obligé de supprimer tout à fait les enrochements, ou si la poussée du terrain semble très redoutable, on place en arrière, dans les terres, des pieux de retenue auxquels, à l'aide de moises transversales, on rattache la file de pieux et pal planches qui maintient le pied de la défense de rive.

Rappelons en terminant que tous les bois mis en œuvre doivent être soigneusement tenus au-dessous de l'étiage ou noyés dans les terres, de façon à être soustraits aux alternatives de sec et d'humide.

Ces diverses combinaisons, du reste, ne sont pas susceptibles de règles précises : on doit s'inspirer du bon sens, des sous forme de matériaux, par exemple, que l'administration a mis en œuvre à l'aide de ses ouvriers et de ses agents. Chaque année on a développé le revêtement, et peu à peu la corrosion a été maîtrisée.

Dans le principe, aucune difficulté ne s'est manifestée, l'intérêt commun semble une garantie sûre pour l'avenir; on évite tout ce qui peut faire naître une discussion susceptible de noire à une création utile et on achève dans ces conditions l'exécution première. L'administration y a pris un rôle plus ou moins actif, plus ou moins prépondérant, mais il est rare que le contrat initial ait été sinon régulier, au moins complet,

Il est arrivé alors que des demandes analogues se sont produites dans le voisinage; des plaintes sont nées au sujet des travaux exécutés qu'on a voulu prolonger ou rectifier; on a réclamé l'intervention de l'Administration puisque c'est sous sa direction que les premiers chantiers avaient été ouverts, et peu à peu, de précédent en précédent, l'État finit par être considéré comme responsable, sinon de chaque ouvrage fait, au moins de leur ensemble.

D'autre part, rien n'est durable sans entretien; plus les travaux ont été économiques, plus l'entretien est nécessaire et dispendieux. S'il est négligé, des avaries se montrent; et comme c'est généralement l'État qui en raison de sa compélence a exécuté, tout le mondè s'unit pour demander qu'il fasse à nouveau ce qu'il n'avait pas assez bien fait dès l'abord.

Iln'y a qu'une manière d'éviter ces mécomptes, c'est de profiter de la bonne volonté initiale pour régler l'avenir d'une façon sûre, légale et profitable à l'intérêt général. Voici comment on peut y arriver.

166. Organisation des nouvelles défenses de rives. — Les défenses de rive sont au nombre des travaux pour lesquels, aux termes de la loi du 24 juin 1865, des syndicats peuvent être organisés. Toutes les fois que la rive d'un cours d'eau doit être fixée dans l'intérêt de la navigation et des riverains, il y a lieu de recourir à cette loi, nonobstant tout précédent, et de s'abriter sous ses dispositions. Nous n'avons pas à les faire connaître, mais nous ne nous écarterons pas de notre sujet e disant que la création, l'entretien et l'avenir des travaux s' trouvent assurés; si l'État fournit une subvention, il chois un nombre de syndics proportionné à cette subvention; l'au torité a le droit de provoquer d'office l'exécution de l'entretie négligé, la durée de l'association est fixée, etc. En un mo tous les intérêts sont sauvegardés. On n'entrera donc dans voie d'une œuvre à frais communs qu'à la condition de ma cher avec la loi du 21 juin 1865.

Si les travaux à réaliser n'embrassent qu'une étendue tro peu importante pour justifier l'accomplissement des formalité exigées par la loi, on a recours à une simple convention ave le propriéraire intéressé. On reproduit dans cette convention les clauses d'avenir qu'indique la loi, en les ramenant à ce que est indispensable à ce cadre restreint, mais en conservar soigneusement toutes celles qui départagent les responsabilité de l'avenir.

Enfin quand les travaux que l'on exécute sont effectués ai frais de l'État seul, sur son terrain et dans un intérêt exclus de navigation, il faut que le fait soit constaté par une mei tion spéciale et officielle dans les archives du service; le jou où par une cause quelconque l'ouvrage vient à disparaître de à être abandonné, on peut alors dire à ceux qui se plaindraie de sa disparition: « Nous avons jusqu'ici défendu votre se « parce que notre intérêt nous y conviait, mais nous n'avon « pris vis-à-vis de vous aucun engagement. Vous avez profil « de nos travaux, vous pouvez les maintenirencore à vos fra « si bon vous semble, mais vous ne sauriez réclamer de nou « la prolongation indéfinie d'un avantage dont vous ave « gratuitement joui. »

467. Situation à prendre à propos des défenses de rive existantes. — Telle est la marche à suivre pour les défense de rives à construire. Pour celles qui sont déjà exécutées qu'il faut maintenir ou renouveler, la situation est plus délicate, parce que le plus souvent les conventions initiales for défaut, soit qu'elles n'aient jamais existé, soit qu'on en ai perdu la trace. Il règne dans les obligations, comme dans le

respon sabilités, une confusion complète que les efforts des ingénieurs doivent tendre à faire disparaître.

Deux cas peuvent alors se présenter : ou les riverains sont disposés à échapper à cette confusion ou ils s'y refusent.

168. Cas où les riverains sont d'avis de revenir à la bi. — Dans le premier cas, rien n'est plus simple, et d'un commun accord on fait retour à la loi du 21 juin 1865. Les intérêts en présence sont définis et réglés; l'État reprend son véritable rôle et ses agents doivent, dans les limites légales, aider de tout leur pouvoir une transformation qui doit sauve-garder l'avenir d'une entreprise utile, sans se refuser même à quel ques sacrifices au début.

169. Cas où les riverains ne veulent pas sortir du statu quo. — Dans le second cas, la situation est très fausse pour les ingénieurs; ils ne peuvent ni agir seuls, parce que ce serait accepter une charge aussi lourde qu'imméritée, ni s'abstenir complètement, parce que ce serait encourir la responsabilité morale d'une inertie regrettable. Ils feront donc sagement en prenant les instructions de l'Administration; mais tout en demandant ces instructions, leur avis est libre, et doit à notre sens s'inspirer des motifs suivants:

Les vallées à fond mobile présentent d'ordinaire un tel dével ppement de défenses de rive que, l'Administration le voulet elle, elle ne saurait accepter la charge de leur entretien.

Elle ne peut le vouloir d'ailleurs, en droit et en équité,
puisque ce serait mettre au service de quelques-uns des
ources affectées à l'usage de tous et supprimer les efforts
viduels ou collectifs là où ils tendent à se produire. Au
traire, ses encouragements doivent aller à ceux qui s'aident,
émontrer aux intéressés qu'il ne suffit pas de s'abstenir
r s'affranchir des charges qui pèsent sur eux.

Si ce principe est vrai (et il ne nous semble pas contestable), l'intervention de l'Administration ne doit se manifester que là une organisation sérieuse, durable et légale, aux termes de la loi du 21 juin 1865, aura fait place à l'ancien état de choses. Des que cette condition sera acceptée, on aidera les intéressés

de toutes les manières, comme nous l'avons dit plus haut; mais jusqu'à ce moment ils ne sauraient se plaindre d'une réserve qu'ils gardent eux-mêmes, et que l'Administration a le droit d'imiter partout où les intérêts généraux dont

elle a charge ne la forcent pas à s'en départir.

Sans doute, avec les habitudes administratives du pays, cette abstention exige une grande prudence, beaucoup de patience, de nombreux avertissements préalables, et des tentatives de conciliation; mais en fin de compte elle est commandée, et après quelques mises en demeure bien notoires elle doit être appliquée. Il en résultera peut-être sur quelques points des intérêts particuliers lésés, et le spectacle toujours affligeant d'une ruine; mais, qu'on n'en doute pas, l'exemple portera son fruit. Pour une opération que l'avenir est appelé à étendre et même à généraliser, il ne faut pas que l'État se substitue aux vrais intéressés, sous peine de supprimer leur initiative et leur concours, et d'aller en sens contraire du but qu'il poursuit.

170. Indications à ne pas perdre de vue. — Ajoutons à cette résolution de principe quelques indications que l'ingénieur doit toujours avoir présentes à l'esprit, en matière de rive.

D'abord, les travaux que l'on projette ou que l'on autorise doivent être toujours strictement défensifs. Ils doivent être conçus de telle sorte qu'on ne puisse les accuser de modifier le régime de la rivière et de rejeter le courant sur des points qui, sans eux, auraient été respectés. Agir dans un autre sens serait exposer l'État à être rendu responsable des conséquences d'événements de force majeure que les riverains sont tenus de supporter, dans l'état naturel des choses.

En second lieu, lorsque les travaux doivent s'exécuter à frais communs, la subvention obligatoire de l'État ne peut être que la représentation de son intérêt. Tout ce qu'il accorde au delà n'est qu'un encouragement, c'est-à-dire une aide essentiellement limitée en temps, et facultative au-delà de ce temps. Il faut que la convention soit explicite sur ce point.

Quand l'État n'est pas directement intéressé, sa subvention,

qui est alors toute d'encouragement, ne dépasse pas, d'après de très nombreux précédents, le tiers de la dépense totale. Cette règle n'a rien d'absolu, mais elle est habituellement suivie.

Enfin, il n'est pas inutile de rappeler que les crédits d'entretien étant accordés annuellement, les ingénieurs ne peuvent valablement s'engager que pour l'exercice courant. Toute convention qui embrasserait plusieurs exercices aurait besoin de la sanction de l'Administration supérieure, les préfets ne pouvant approuver la dépense que dans la limite des crédits ouverts.

# § IV

#### QUAIS.

Nous nous occuperons actuellement de ces défenses de rive spéciales qui ont pour objet d'établir des communications sûres et faciles entre les bateaux et la terre ferme, et qui portent le nom générique de quais. Ce sont d'habitude des dépendances du domaine public, créées et entretenues par l'Etat, c'est-à-dire ressortissant directement aux ingénieurs.

Quais inclinés. — Dans beaucoup de localités peu importantes, où le commerce qui se pratique par eau n'a qu'une activité restreinte, les quais peuvent n'être qu'une défense de rive plus soignée.

Le talus est garni de perrés maçonnés assez épais pour résister au choc des bateaux; le pied est fondé solidement, à l'aide de pieux et de palplanches, afin de réduire autant que possible l'enrochement de défense situé sur la berge, et dont le talus prolongé pourrait devenir un écueil; le couronnement est formé d'une pierre de taille le long de laquelle peuvent glisser facilement les amarres des bateaux; on place souvent même sur cette pierre de taille une lisse en bois, afin de ménager à la fois le cordage ou la chaîne et l'arête de la pierre,

tandis que la circulation y trouve une protection contre les accidents. Cette lisse est placée à quelques centimètres andessus du sol, afin de laisser passer les eaux qui s'écoulent du terre-plein, et assez peu haute pour qu'elle ne soit pas ébranlée par les efforts et les chocs qu'elle a à supporter; 0,15 à 0,20 de hauteur totale suffisent largement.

De distance en distance des escaliers de même inclinaison que les perrés permettent d'accéder en batelet, sans avoir à

gravir la pente glissante qu'offrent les maçonneries.

Quant au terre-plein, on lui donne vers la rivière une inclinaison suffisant à l'asséchement, sans être gênante pour les mouvements des marchandises; 3 à 4 centimètres par mêtre semblent assurer convenablement cette double condition. Il est généralement empierré.

Le long du couronnement une zône de pavage, plus on moins large suivant que la circulation doit être plus ou moins active, permet de longer la rivière sur un emplacement libret propre; sur cette zône, à 2<sup>m</sup> 00 environ du talus, se fixera de distance en distance des bornes d'amarrage. Pour peu que le port soit fréquenté, il est difficile que ces bornes soi ent espacées de plus de 25 mètres. Habituellement elles sont à me dizaine de mètres de distance les unes des autres; elles jal ment la ligne qui sépare l'emplacement que peuvent occur per les marchandises de l'espace qui doit toujours rester libre le long du quai, pour la circulation.

Les bateaux se tiennent à flot, à la distance du quai voulue par leur tirant d'eau, et de longs madriers permet tout de transborder les marchandises, à bras d'homme ou avec des brouettes, entre le bateau et le point du quai ou peuvent accéder les voitures. C'est assez incommode, mais écon mique au point de vue de la construction; nous n'avons pasinsister sur ces ouvrages qui rentrent complètement da le l'espèce de ceux que nous venons d'examiner, et qui ne sont proprement parler que la fixation de la rive naturelle pour le besoins de la circulation exceptionnelle qui s'y pratique.

172. Cales destinées à la construction des trains.

Mentionnons, avant de quitter ce sujet, les cales inclinée

sur lesquelles se construisent les trains de bois. Nous n'en dirous toutefois que quelques mots, car ce sont des ouvrages spéciaux plutôt que des quais.

Les trains de bois se construisent sur des cales inclinées, où jeurs éléments sont assemblés sur des tins ou glissières présentant une pente de 10 à 15 % vers le cours d'eau, transversalement à la berge. La partie supérieure de la cale est aussi rapprochée que possible du point où se déchargent les véhicules qui amènent les bois; la partie inférieure se prolonge en rivière assez loin pour qu'au niveau le plus bas des eaux l'élément lancé, branche, tronce ou coupon, soit à flot avant d'avoir pu toucher le fond; quant aux abords ils sont ce que la nature les a faits, car le principal mérite de ces établissements primitifs est de pouvoir se réaliser à portée des exploitations de bois. Au point de vue du flottage, ce sont les quais d'embarquement les plus utiles, et c'est à ce titre que nous les signalons.

173. Cales destinées au débarquement des pièces de charpente flottées. Cales pour les bois de chauffage. — En ce qui concerne les quais de débarquement pour les bois, il ya une distinction notable à faire entre les cales qui servent aux pièces de charpente et celles où accostent les trains de bois à brûler.

Les pièces de charpente sont attachées par un crochet et trainées à terre par des chevaux jusqu'au terre-plein, où elles trouvent le véhicule qui doit les transporter ensuite au magasin. Elles sont donc amenées d'un coup de collier, de l'eau où elles flottent à la surface supérieure du quai; il est utile que la traction soit facile, rapide, et n'exige pas un trop long espace à parcourir, sous peine d'intercepter la circulation sur la rive par le va et vient des chevaux et de la chaîne qui se fixe à la pièce. On réalise ce programme à l'aide d'une cale descendue au dessous de l'étiage, offrant sur la berge une pente de 15 à 20 %, large de 3 à 4 m et garnie de madriers en bois dur, dont les fibres sont placées de telle sorte que le frottement ascendant des pièces ne produise pas de pénétration. Les chevaux tirent sur le terre-plein, en dehors de la cale; quand on manque d'espace on dispose celle-ci obliquement à

la rive, de manière à ne pas développer transversalement s le quai : les chevaux, la chaîne et la pièce de bois. L'obliqu de la cale doit être d'ailleurs telle que la traction s'effect dans un sens opposé au courant, car sans cette précauti les pièces de bois s'orienteraient mal pour la manœuvre.

Pour les bois de chaussage, le système est tout dissére et à Paris (ce n'est presque qu'à Paris que se déchirent trains de bois de chaussage) les voitures vont jusque p-du train, dans l'eau, se faire charger directement par slotteurs. Pour répondre à cet usage, le terre-plein doit en pente très douce, 7 à 40 %, et s'étendre assez loin s l'eau pour qu'aucun accident ne soit à redouter. Hâtons-n-d'ajouter que nous ne citons ce procédé que pour mémoson application étant la suite d'usages locaux plutôt que exemple à suivre.

population, et partout où le commerce prend un grand veloppement, les procédés d'embarquement et de débarquen dont nous venons de parler à propos des quais inclinés sera absolument insuffisants. Cette insuffisance croît avec le tird'eau des bateaux qu'elle force à s'éloigner de plus en plus terre-plein; elle devient notamment une perte réelle dans partie maritime des rivières, où les bâtiments sont obligés s'approcher et de s'éloigner de la rive pour obéir au jeu de marées. Là, il devient indispensable d'avoir recours aux quais droits, c'est-à-dire à peu près verticaux, que le bateau accoste directement et près desquels il stationne à distance assez faible pour que l'emploi des grues devienne possible.

Tout mur de quai vertical sera dès lors un mur de soutenement, poussé à la rivière par le terre-plein qu'il limite et retenu en place par sa propre stabilité augmentée de la pression de l'eau sur sa face vue. Or, les ouvrages de ce genre sont d'autant plus difficiles à réaliser que le terrain sur lequel ils s'appuient est moins solide, et c'est par la nature des fondations sur lesquelles ils reposent que nous les distingue-

rons.

■ >5. Mur de quai sur terrain dur. — Si cette fondation est un rocher ou tout autre terrain aussi solide, la question devient assez simple.

Le pied du mur sera placé à telle profondeur que les bateaux trouvent toujours leur mouillage lorsqu'ils accosteront le

Le couronnement sera à peu près au niveau des plus hautes eaux navigables, sans que cette règle soit absolue; il est bon, en effet, que le quai puisse être utilisé pendant tout le temps que la rivière l'est; mais il serait fâcheux que les marchandises fussent soumises à un transport vertical exagéré pendant toute l'année pour parer à une éventualité de quelques jours. D'autre part, ce transport vertical cesse d'être un inconvénient s'il jamène de suite l'objet transbordé au niveau des voies d'accès du port. La position du couronnement doit donc être l'objet d'une étude locale dont font partie les diverses données que nous yenons d'énumérer.

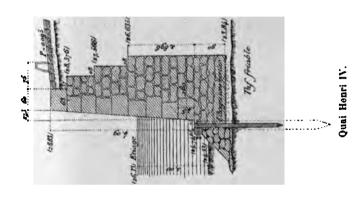
Une fois l'emplacement du pied et la hauteur déterminés, on adopte pour le parement vu la forme d'un plan incliné à raison t de base pour 15 ou 20 de hauteur. Ce léger fruit, sans gêner beaucoup les bateaux, facilite la stabilité du mur de quai en élargissant sa base du côté du vide; on porte même ce fruit à de la hauteur quand l'effort de renversement peut être considérable.

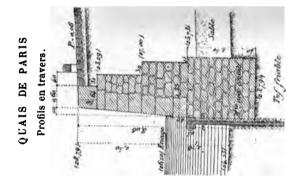
Au sommet l'épaisseur peut difficilement être moindre que l'a, puisque le mur doit recevoir là le couronnement en pierre de taille qui a 0 ,60 environ de largeur, et les premiers pavés de la zône qui règne en général le long de la rivière, aussi bien sur les quais droits que sur les quais inclinés.

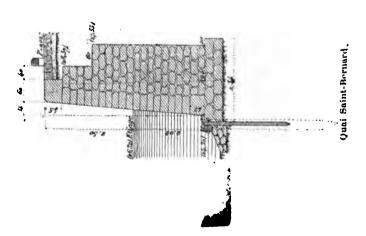
Quant à la surface cachée dans les terres, on la dresse par une succession de plans verticaux et horizontaux dessinant des gradins, qui amènent la masse à offrir aux forces qui la sollicitent une résistance suffisante.

# CHAPITRE VIII. DÉFENSE DES RIVES

180







Quai de la Tournelle.

176. Manière de tenir compte de la poussée des terres. — L'épaisseur du mur reste à déterminer, tout le reste étant, ainsi que nous l'avons vu, à peu près commandé par la destination de l'ouvrage.

Le calcul est des plus simples dans le cas d'une fondation solide et nous ne nous y arrêterons pas. Nous nous bornerons dire que l'on compose la poussée des terres avec celle de l'eau, le poids du mur avec celui des remblais qui chargent les gradins, et qu'on vérifie si la résultante de toutes ces forces passe à telle distance de l'arête de base que les lois de la résistance des matériaux demeurent respectées. Ces diverses forces sont connues, la poussée des terres exceptée; cette Poussée d'ailleurs est extrêmement variable avec la nature des remblais; en ce qui la concerne, on en est réduit aux hypo-Lineses. On tiendra compte, croyons-nous, des circonstances les plus défavorables en admettant que le remblai, sur toute sa hauteur, agit comme le ferait un liquide qui occuperait le même emplacement et dont la densité serait celle des vases, e està-dire 1,20 à 1,40. Ce n'est pas que les remblais se détre inpent jamais assez pour que cette hypothèse devienne une réalité, mais il suffit que la partie qui avoisine la face cachée devienne liquide pour qu'il se produise derrière le mur un effet de presse hydraulique tendant à un renversement. Or l'effort élémentaire de cette pression statique sera précisément celui de la poussée d'un liquide; il suffira pour imprimer au mur un léger mouvement qui s'arrêtera, il est vrai, aussitôt Que la tension disparaîtra, mais qui reprendra dès que les circonstances qui l'ont fait naître se reproduiront.

Sur ces diverses données, et en s'aidant d'exemples nombreux, on est amené à reconnaître que la plupart des murs de quai de cette espèce qui ont bien résisté présentent une épaisseur moyenne égale aux 40 ou 45 centièmes de leur hauteur.

177. Détails d'exécution. — La forme ainsi arrêtée, on constituera le massif en bonne maçonnerie hydraulique, le parement en moëllons smillés ou piqués et même parfois en pierre de taille. Le couronnement sera massif et à arête

arrondie et le terre-plein garni de bornes d'amarrage et d'ouvrages d'accès analogues à ceux dont nous avons déjà parlé.

Quand on a été conduit à donner au mur de quai une assez grande hauteur, l'usage des bornes d'amarrage est assex incommode; il est préférable alors d'avoir recours à des organeaux fixés dans le parement vu. Ces organeaux sont noyés dans la maçonnerie de façon à ne pouvoir blesser les baleaux, et il est bon qu'ils puissent être facilement saisis avec une gaffe; quelques évidements dans la pierre rendent la chose

Dans le même cas d'un mur un peu haut, il convient de placer de distance en distance, espacées de 20 mètres par exemple, des échelles de sauvetage qui permettent une comfacile. munication facile aux embarcations des bateaux qui stationnent sur la rivière, et offrent en cas d'accident une chance de salut trop souvent perdue en face d'un mur vertical abso-

Telles sont les principales indications qu'il nous est possible de donner sans entrer dans trop de détails, sur les murs de lument inaccessible. quai en général; la réalisation en est assez facile dans le cas que nous avons admis tout d'abord, celui d'un ouvrage établi sur rocher. La fondation à une profondeur suffisante audessous du niveau des eaux du bief entraînera peut-être la construction d'un bâtardeau, ainsi que quelques épuisements; mais en somme on ne rencontrera aucune difficulté spéciale au genre d'ouvrage que nous examinons.

Il est rare qu'on soit assez heureux pour trouver, précisément là où l'on veut construire un quai, une couche solide à hauteur convenable pour servir de fondation. Le plus souvent, les rives des cours d'eau sont formées d'alluvions qui offrent aux murs de quai une assiette moins sure et exigent par suite des dispositions qui influent sur la forme du mur.

178. Mur de quai sur un sol incompressible et affouillable. — Un cas assez fréquent est celui d'un sol incompressible mais affouillable, gravier ou sable. On protège alors la fondation par une ligne de pieux et palplanches, en arrière de laquelle on établit le mur, avec un léger empatement de béton

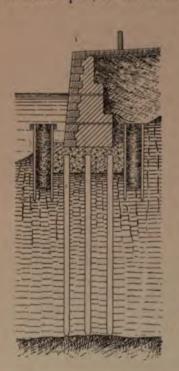
§ IV. QUAIS on de maconnerie, afin de mieux répartir les pressions transmises au sol naturel. Celui-ci en effet n'est pas incompressible à la façon du rocher, et il faut tenir compte de la mobilité de ses Parties constituantes. Parfois, lorsque les affouillements sont pen à craindre, on élargit l'empatement et l'on se dispense de la risberme de pieux et palplanches, ainsi qu'on l'a fail au quai de Javel en 1868-69. Nous estimons, quant à nous, que les affouillements étant ce que les murs de quai ont le plus à craindre, on ne saurait prendre trop de précautions contre les chances qu'ils ont de se produire; ces précautions prises, on retombe à peu près dans le cas précédent.

1 = 9. Couche incompressible reconverte d'une couche Pressible pen épaisse. - La situation devient toute antre quand le terrain solide, sur lequel on peut s'appuyer, est séparé de la base du quai par une couche de terrain compressible- Il faut alors aller chercher la résistance là où elle se pronve, c'est-à-dire à grande distance des forces renversantes,

dont le bras de levier s'accroît ainsi à mesure qu'on descend. Quand les couches compressibles sont peu épaisses (deux trois mètres par exemple) on peut les enlever dans une enceinte de pieux et palplanches et les remplacer soit par du béton coulé, soit par une maçonnerie ordinaire faite à l'aide d'épuisements. Sur cette base convenablement élargie pour résis ter elle-même à la ponssée des terres, on asseoit le véritable mur de quai qui n'est alors que la partie supérieure de l'ouvrage de soutenement, reposant sur les couches solides, et calculé en raison des forces qui le sollicitent.

180. Couche compressible épaisse. — Mais quand la couche compressible prend une épaisseur considérable, de cinq à dix mètres par exemple, un procédé du même genre présenterait les plus grandes difficultés. On préfère généralement recourir à des pieux dont les têtes réunies par une plateforme supportent le poids du mur, et dont le corps reporte ce poids sur le terrain solide à travers les couches compressibles. On connaît la résistance que peut offrir un pieu chargé vertica-Iement et on en déduit le nombre de pieux nécessaire au soutien du mur, considéré comme masse pesante.

Mais la charge verticale n'est pas la force dangéreuse pou un mur de quai, et dans la situation où notre système de con



truction place l'ouvrage, c'es à-dire au sommet de lon; pieux, sa stabilité propre vis vis de la poussée horizonta du terre-plein est à peu pro nulle; c'est donc à des dispos tions accessoires qu'il faut d mander cette stabilité.

La première indication q se présente à l'esprit, c'est e réunir les pieux les uns au autres, dans un sens normal la poussée, afin de leur pe mettre d'agir non individuell ment, mais comme une ferm Les moises qui réuniront l pieux de fondation seront do dirigées perpendiculairement la direction générale du mu les épaulements d'assembla seront larges et les tenons tête des pieux aussi forts qu

possible. On aura là un supplément de rigidité peu considerable, mais qu'il ne faut pas négliger, puisqu'en tout état cause une plateforme est nécessaire. Généralement les terrai compressibles sont très peu perméables, et les soins d'asserblage dont nous venons de parler pourront être pris à l'al d'un batardeau.

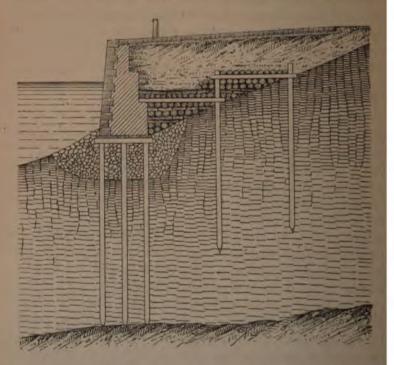
Si l'on ne se trouvait pas dans des conditions d'étancheme possible de la fouille, on supprimerait la plateforme et on remplacerait par une couche de béton coulé, empâtant têtes des pieux sur 1<sup>m</sup> à 1<sup>m</sup>,50 d'épaisseur, et produisant air une sorte d'encastrement et de liaison sous les maçonneri futures. Il n'échappera pas toutefois que le poids du m s'accroîtrait d'autant, dans cette hypothèse.

# La force auxiliaire la plus efficace parmi celles dont on dispose est évidemment la résistance du sol qui appuie la face vue du mur de quai. On la développera autant que possible, en garnissant d'enrochements la fouille faite pour les fondations, sous le mur et en avant du mur, de façon que tout mouvement de translation qui tendrait à s'opérer rencontre cette masse, dense, incompressible, et par suite d'un déplacement très difficile. On y gagnera en outre que toute poussée lo cale se répartira par les enrochements sur une étendue de rrain plus grande que le front sur lequel elle s'exerce, ce qui est de nature à atténuer ses effets, à les annuler même dans la plupart des cas.

182. Pieux de retenue. — On a quelquefois recours à des pieux de retenue, que l'on ancre dans les terrains d'amont et qui, rattachés au mur, ajoutent leur résistance au renversement à celle des pieux de sa fondation. Nous ne méconnaissons pas les services qu'ont pu rendre parfois ces pieux de retemue, mais nous ne pensons pas que ce mode de consolidation doive être classé parmi les plus sûrs. D'abord la liaison qu'il constitue est enfoncée dans le sol et ne peut être surveillée; si elle vient à manquer, on n'en est prévenu que par les avaries qui se produisent. En second lieu, il y a bien des chances pour que le terrain dans lequel s'implantent les pieux de retenue ne soit pas plus solide que la couche très voisine dans laquelle est assise la fondation; on n'obtiendra par suite qu'un supplément de solidité à peu près insignifiant. Enfin les forces qui se développent dans un terre-plein en voie de ramollissement sont tellement considérables, et croissent si Papidement quand le mur ne cède pas un peu à leur poussée, qu'il est à peu près impossible d'espérer les combattre avec van point fixe de distance en distance, surtout quand ce point Fixe est un simple pieu.

Nous préférons de beaucoup les systèmes qui tendent à dininuer la poussée d'amont. Ils nous semblent le complément logique et naturel de la consolidation qu'apportent les enrochements à l'aval en développant et solidarisant la résistance du terrain.

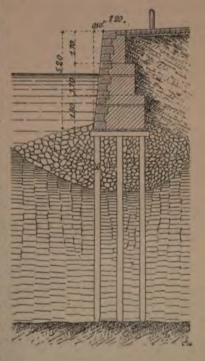
183. Plateforme supportant les remblais. Remblais spéciaux. — Pour diminuer la poussée d'amont, le premier moyen qui se présente à l'esprit, c'est d'employer des remblais qui poussent peu, des moellons par exemple, des fascines, du héton maigre, etc. On peut également faire supporter les



remblais par des plateformes ou des voûtes de décharge et éviter ainsi l'action directe du poids sur le prisme de glissement. Observons cependant que ces procédés divers ont plus d'efficacité vis-à-vis des maçonneries qui servent de soutènement à des terres sèches que pour venir en aide à un mur de quai. Le mur de quai est toujours placé au point bas de la vallée; son terre plein reçoit toutes les eaux d'un des versants; et au travers des moellons, sous les plateformes ou sous les voûtes, les liquides répandus dans la masse, après un orage par exemple, exercent sur la face arrière du mur une pression hydrostatique voisine de celle qui existerait si aucune précaution n'avait été prise. On n'a pas, il est vrai, les mêmes accidents à craindre, en cas d'avarie, parce que le moindre mouvement supprime la tension du liquide pâteux qui baigne les remblais; néanmoins cette tension se reforme avec le temps; et c'est par une succession de petits mouvements que le quai se détruit, au lieu d'être emporté tout d'un coup, comme il serait exposé à l'être avec des remblais de mauvaise qualité.

\*\* S4. Barbacanes. — La précaution est donc bonne, mais insuffisante, en raison de la situation spéciale du quai;

et il nous paraît utile de la compléter par l'établissement au travers du mur de harbacanes plutôt nombreuses que grandes. Tout le terre-plein sera draîné par ces orifices, les remblais s'assècheront et l'effet irrésistible de presse hydraulique que produisent les liqui des emprisonnés derrière un mur disparaîtra de luimême, avec l'aide d'un écoulement insignifiant. C'est là, suivant nous, la véritable voie à suivre parce qu'elle annihile la poussée au lieu de lui résister, et dissémine le remède, à peu près sans frais, partout où le mal tend a se produire. De simples drains régulièrement espa-



dans les maçonneries suffirent, pourvu qu'en ait le soin de les prolonger dans le terre-plein et de les multiplier assez

pour qu'il ne puisse rien résulter de quelques obstructions. On prendra d'ailleurs toutes les précautions possibles pour éviter ces obstructions, ce qui s'obtiendra à peu de frais en entourant les tuyaux noyés dans les remblais de matériaux de grosseur décroissante, formant filtre et s'opposant à l'entraînement des matières.

Ce que nous venons de dire sur l'avantage des barbacanes ne s'applique pas seulement aux murs de quai fondés sur pieux; il s'applique à tous les murs de soutènement en général, même à ceux qui sont fondés sur le rocher. On ne peut que gagner à ce que les remblais soient asséchés.

185. Profils courbes des murs de quai. - On a cherché dans la construction des quais à diminuer le cube des maçonneries en adoptant un profil curviligne, concave à l'extérieur, surplombant du côté des terres et d'une forme analogue à celle qui a été souvent adoptée, surtout en Angleterre et en Allemagne, pour les murs de soutènement. Nous ne pensons pas que cette manière de faire puisse jamais se généraliser. Le mur de quai n'est qu'accessoirement mur de soutènement; son rôle principal est de faciliter les mouvements commerciaux, et un parement plan et voisin de la verticale sera toujours préférable à une forme compliquée; en outre, pour un ouvrage de ce genre soumis à des pressions d'intensité variable, à des chocs de bateau, à des submersions, etc.. il ne faut pas rechercher une trop grande légèreté ou une stabilité trop voisine de l'équilibre. La forme que nous avons décrite plus haut nous semble donc mériter la préférence dont elle jouit en France, où elle est employée d'une façon presque exclusive, partout où l'on trouve à sa disposition une couche solide à laquelle la construction puisse atteindre.

Toutefois cette couche solide est loin de se rencontrer partout; à l'embouchure des fleuves, notamment, on est souvent en face d'un sol de vase d'une profondeur très grande et qui se dérobe sous la charge qu'on veut lui imposer. C'est là cependant que les cours d'eau sont le plus facilement navigables; c'est là que s'échangent les produits exotiques et ceux du pays; c'est là par suite que la construction de quais peut le mieux se justifier. Nous nous arrêterons un instant sur celle question assez peu connue, non seulement en raison de l'utilité spéciale que présentent les quais, mais encore pour exposer les principes de construction qui peuvent suivant nous guider dans le maniement de ces terrains difficiles.

■ ■ 6. Constitution des terrains vaseux. — Disons quelques mots d'abord de ces terrains eux-mêmes, pour faire

apprécier les propriétés qui les distinguent.

Us sont formés d'une argile molle, glissante à la façon du savon, fine, sans une parcelle de sable, très imperméable, sans aucune résistance propre à la compression et ne gardant sa forme qu'à cause de la forte cohésion que présente toujours une pâte un peu épaisse, quelle que soit sa nature.

Formés dans des eaux tranquilles, ces dépôts se sont accumulés par couches de niveau, maintenant par cela même leur équilibre, et ont constitué de vastes plaines, parfaitement horizontales, d'une profondeur parfois indéfinie. La dessication des couches superficielles a amené, dans la partie haute, une certaine résistance à la compression; mais cette résistance est si facile à vaincre que le sol s'enfonce sous un remblai de 1 mètre ou 1<sup>m</sup>,50 de hauteur, en se boursoufflant de chaque côté de ce remblai.

Mal gré cette instabilité sous une pression accidentelle, les rives des cours d'eau conservent une pente assez prononcée, en l'aison probablement de la viscosité des vases, aidée de la diminution de pesanteur qui résulte de l'immersion des rives.

Cette pente est en moyenne de 3 de base pour 1 de hauteur; elle se forme d'elle-même par une succession de dépôts et d'aissements au milieu desquels le sol prend l'état d'équilibre que sa nature lui assigne, équilibre si peu stable qu'une charge e même légère suffit à le rompre.

même rupture d'équilibre se produit encore quand on imposer au terrain un talus autre que celui qui lui convice et si, dans l'un ou l'autre cas, la masse qui tend à se roup re est emprisonnée, elle pousse au vide tout à fait comme le ferait un liquide de même densité, avec cette différence que les mouvements ne peuvent se produire que très lentement,

as Que so soler

en raison de la nature pâteuse du milieu. En un mot, les terrains vaseux participent de la nature des solides et des liquides. Tant qu'ils sont maintenus dans les limites de charge ou de talus qui leur conviennent, ils gardent leur forme comme un corps solide; mais aussitôt que la limite est dépassée, ils transmettent les pressions à la façon des liquides. Cette limite d'ailleurs varie d'un point à un autre, et d'un instant à l'autre sur un même point, en raison de l'état hygrométrique des vases, ou d'un premier ébranlement.

187. Consolidation d'un sol de vase indéfinie, en vue du poids des quais. — Pour construire un quai dans un semblable terrain, il faut tout d'abord donner à ce terrain la force de supporter le poids de la construction. Le seul moyen d'y arriver, c'est de répartir ce poids sur une assez grande masse de vases, tant à la surface que dans les couches inférieures, pour que la cohésion des molécules triomphe de la fluidité du sol. On y arrive en plaçant dans ce sol des pieux qui y pénètrent avec facilité de toute leur longueur quelle qu'elle soit, et qui, étroitement enserrés, résistent par l'adhérence de leur surface latérale. Cette adhérence, l'expérience a montré qu'elle pouvait être portée sans danger à 6 ou 700 kilogrammes par mètre carré de surface flottante, pour des pieux de 10 mètres de longueur et de 0°,30 de diamètre moyen.

En prenant un nombre de pieux suffisant, on peut donc arriver à supporter un poids donné, surtout si l'on a soin de ne pas s'écarter heaucoup des dimensions et de l'espacement assignés aux pieux dans les applications réalisées. Il est difficile d'ailleurs de rapprocher les pieux à plus de 4 mètre de distance, si l'on veut que la vase qui les sépare ne soit pas entraînée avec eux; il serait imprudent de leur donner moins de 5 à 6<sup>m</sup>,00 de fiche, si l'on veut qu'ils soient réellement adhérents; car au-dessous de cette limite ils ne feraient que flotter dans les couches superficielles et pourraient être entraînés avec elles. En restant au contraire dans les limites que nous avons posées, on peut arriver, même sur un talus vaseux, à édifier un mur de quai qui, envisagé seul, pourrait

être stable.

188. Impossibilité de constituer le terre-plein par les moy ens ordinaires. - Mais un mur de quai n'est utile que par le terre-plein qui le relie à la rive, et sur lequel s'opèrent les mouvements commerciaux. Il faut donc former le terreplein, et c'est là que les difficultés deviennent insurmontables. Sous l'action du remblai, quel qu'il soit, le talus s'écrase, et l'argile poussée vers l'aval chasse le mur dans la rivière. En raison de la nature pâteuse du milieu, le mouvement peut se faire attendre, mais il arrive infailliblement, et est d'autant plus violent que l'on a réussi à monter les remblais plus haut, en opérant rapidement, avec l'aide de l'inertie première de la masse, Vainement on a tenté les moyens de consolidation employés sur les quais ordinaires, fascinages, plateformes, risbermes de pieux jointifs, pieux de retenue tendant à solidariser le terrain à grande distance, on n'a jamais pu maîtriser une force qui se développe d'elle-même en étendue jusqu'à ce qu'elle ait renversé les obstacles. Il est remarquable que les accidents soient devenus toujours d'autant plus graves qu'on avait mieux réussi à les retarder; mais il ne saurait en être autrement, puisque le poids des masses en mouvement croît comme les cubes, tandis que l'adhérence n'augmente que comme les surfaces.

Ils sont des plus bizarres, suivant le niveau auquel les pressions se font sentir; à la suite des travaux de consolidation, le mur s'incline en avant ou en arrière; toujours il s'avance en rivière, toujours il s'affaisse dans les vases. Le plus habituellement les mouvements sont lents, doux et appréciables seulement par longues périodes; la maçonnerie se lézarde pour suive l'impulsion; les pieux se courbent et à la limite se brise et, mais peu à peu et sans déplacement brusque; c'est marche progressive d'arrière en avant et de haut en bas, qui rriverait avec le temps à enfouir les débris de la constitue d'arrière de distance du point où elle a été édité de. Nous avons vu et démoli des murs de quai dont l'arète su prieure, en une quinzaine d'années, avait tassé de 2<sup>m</sup>,40 et s'était transportée à 2<sup>m</sup>,50 en rivière.

Puisqu'en pareil cas les moyens habituels échouent, il faut nécessairement changer de système et voici l'idée de principe qui a reçu quelques applications, heureuses jusqu'ici.

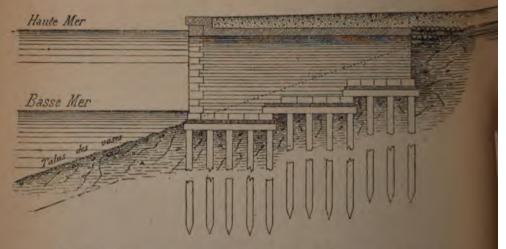
190. Idée de principe pour la construction de quals dans les terrains vaseux. — Puisque les terrains vaseux abandonnés à eux-mêmes prennent un état d'équilibre, il faut que le quai soit conçu de telle sorte que cet état d'équilibre, c'est-à-dire leur talus naturel, soit respecté.

Puisque d'ailleurs cet équilibre est variable avec l'état hygrométrique du terrain, il faut que les variations qui tendent à se produire puissent s'accomplir toutes les fois que besoin

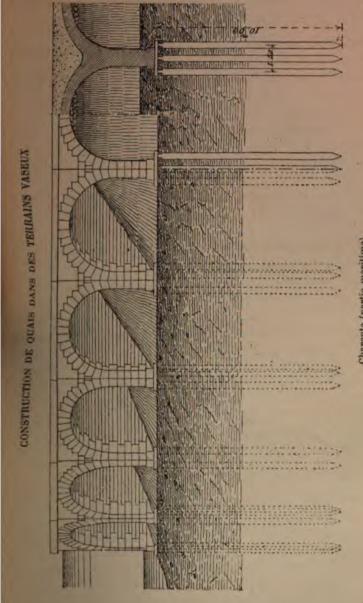
est.

Et l'on évitera d'autant plus sùrement les grands mouvements qu'on laissera mieux s'effectuer les petits.

191. Application de l'idée de principe. — Ces conditions ont été réalisées de la manière suivante : Dans le talus vaseux, perpendiculairement à la rive, et sur



toute la longueur, à peu près, du talus entre le pied du mur à construire et cette rive, on a battu des pieux destinés à supporter une suite de piles, épaisses de 1 m. et espacées de 6 m. d'axe en axe. C'étaient des points fixes, introduits dans un



Charente (partie maritime).

système en équilibre; par conséquent, l'équilibre n'était pastroublé.

Sur ces piles, on a jeté une série de voûtes s'étendant du parement du quai à la rive, et le terre-plein s'est trouvé ains ... constitué.

En prenant assez de pieux pour que la construction puisse être supportée à raison de 700 kilos par mètre carré de surface frottante, on était prémuni contre les tassements vert caux. La poussée horizontale n'avait pas de raison pour agispuisque les conditions d'équilibre étaient respectées.

Enfin, si quelque mouvement tendait à se produire, pazsuite d'un ramollissement des vases, comme le système de construction présentait 5 m. de vide pour 1 m. de plein, m très léger glissement avait lieu le long des piles, dans les couches superficielles seulement, et sans que l'ouvrage en fût atteint. On voyait simplement un tassement de quelques centimètres, une gerçure le plus souvent à la jonction du terreplein et de la rive, tassement que corrigeait un rechargement superficiel sans importance, et qui semble du reste avoir, avec le temps, complètement disparu.

Des quais ont été construits dans cet ordre d'idées de 1853 à 1860, dans la partie maritime de la Charente, et îls n'ont pas, que nous sachions, éprouvé d'accident. Ils ont cependant ensemble un développement de plus d'un kilomètre, îls sont placés dans un banc vaseux où la sonde a pénétré à 35 mètres de profondeur sans rencontrer de terrain résistant et ils sont soumis à l'action des marées compliquée de celle de l'échouage des navires, action dont il faut dire un mot parce qu'elle est essentiellement destructive.

192. Effet des souilles. — Lorsque, la marée baissant, les navires placés bord à quai n'ont plus leur tirant d'eau, ils s'échouent sur le lit de vase qui est en avant des quais, l'écrasent et y creusent une sorte de berceau, précisément de leur forme, qu'on nomme souille. Ainsi soutenus par ce berceau qui les presse à la manière de l'eau, ils attendent à leur place le retour de la marée qui les soulève au moment où elle a acquis une hauteur suffisante.

A ce moment, l'équilibre qui s'était formé dans le talus vaseux sous l'action de ce poids additionnel est rompu brusquement; la souille demeure vide et en se comblant fait un appel assez énergique dans tout le terrain qui l'entoure. C'est encore une cause de mouvement dans les talus et une raison de plus pour que les dispositions adoptées permettent à ce mouvement de se produire.

Quelques détails d'exécution. — Les quais dont nous venons de parler ont des voûtes en plein-cintre construites en moellons ordinaires, avec bandeau en pierre de laille; leur hauteur varie de 4 m. 50 à 5 m. 50. De cinq en cinq voûtes, on a renforcé une des piles pour former pile culée afin que, si un accident se faisait sentir sur une voûte, il ne se propageât pas trop loin; les lignes courbes sont obtenues par une suite de pans coupés que soutiennent des voûtes alternativement coniques et cylindriques.

■ 34. Prix. — Le prix a été d'environ 100 fr. par mètre carré de surface recouverte par les voûtes.

Il y a eu sur quelques points de légers tassements après décintrement. Ils étaient produits probablement par une insuffisance dans le nombre des pieux de fondation, par quelques défauts d'assemblage dans les plates-formes, ou par tonte autre conséquence des incertitudes d'un début; mais nulle part on n'a eu de mouvement d'ensemble ni de déversement en rivière.

Les dispositions que nous avons adoptées pour l'exécution de ce travail n'ont rien qui s'impose. Nous les avons citées parce qu'un exemple fournit toujours une notion plus précise qu'une donnée théorique; mais l'ouverture des voûtes, leur longueur, leur constitution, leur forme, peuvent varier avec les circonstances locales.

195. Conditions essentielles à remplir. — Les seules conditions qui nous semblent essentielles à remplir sont les suivantes :

Le poids total du quai doit être réduit autant que faire se peut, sans que pourtant on en arrive au point où l'influence du poids additionnel des marchandises pourrait troubler sensiblement l'équilibre. Cet allègement serait cependant sans inconvénient si les fondations étaient calculées pour soutenir

le poids du quai tout chargé.

Les maçonneries ne doivent pas être trop appareillées ni présenter trop de sujétions; le milieu dans lequel on s'établit est si mobile qu'on est tenu de prévoir, à un moment donné, quelques légers tassements locaux dont il faut faire la part.

Les culées doivent être extrêmement larges, évidées pour que le poids n'en soit pas excessif. Il est bon, toutes les fois

qu'on le peut, de les rattacher à un point solide.

Enfin îl est indispensable qu'aucun obstacle, aucune consolidation, ne s'oppose au jeu facile des terrains sous les voûtes, parce que ce sont les petits mouvements inoffensifs des vases superficielles qui préviennent l'ébranlement des grandes masses.

Si ces conditions sont remplies, la solidité des quais ira en croissant; le temps amènera une adhérence toujours plus intime entre la rive consolidée et le terrain naturel; on verra sous les voûtes les talus se charger, s'assaisser, changer de forme en un mot, sans que le terre-plein s'ébranle, et cette succession de petits phénomènes inaperçus justifiera ce que la théorie fait prévoir.

Nous avons cru devoir donner un certain développement à ces considérations, parce que les terrains argileux, plus ou moins fluides, sont au nombre des ennemis les plus redoutables que rencontrent les travaux. En particulier l'état vaseux permanent, sans assèchement possible, est une des formes contre lesquelles il est le plus difficile de lutter. De l'étude de cette lutte, fût-elle quelquefois malheureuse, il reste toujours un certain nombre de notions dont l'application trouve souvent à se faire dans les travaux hydrauliques.

Terminons en disant que les quais droits, en semblable terrain, ne se justifient que par des besoins commerciaux développés, et que pour des ports peu importants on se contente d'estacades en charpente ou apontements, s'avançant en rivière jusque vers la place qu'occupent les bateaux, et formant autant de ponts en bois qui aident à franchir les berges

que la nature a faites impraticables.

## CHAPITRE IX

# DES CHEMINS DE HALAGE DU HALAGE DE LA DÉLIMITATION DU LIT DES COURS D'EAU

#### SOMMAIRE:

Législation qui régit la servitude du halage : 196. Origine de la servitude du halage. — 197. La servitude de halage s'étend sur les deux rives 198. Place de la zône frappée de la servitude de halage. — 199. Droits espectifs de l'administration et des riverains.

Paspectifs de l'administration et des riverains.

2 - Conditions techniques du halage : 200. Continuité. — 201. Rive à choisir. — 202. Iles. — 203. Hauteur. — 204. Passage des affluents. — 205. Difficultés à la rencontre des ponts. Procédés employés. — 206. Passage du Pont-Royal. — 207. Placer le chemin de halage sous l'arche marinière.

3. — Délimitation du lit des cours d'eau : 208. Propriété du lit des cours d'eau. — 209. Cette propriété est soumise à de nombreuses restrictions. — 210. Elle a le privilège de se reconnaître elle-même. — 211. Droit à peu près arbitraire de l'administration jusqu'en 1856. — 212. Doctrine de l'autorité judiciaire. — 213. Divergence entre les interprétations. — 214. Doctrine près arbitraire de l'administration jusqu'en 1856. — 212. Doctrine de l'autorité judiciaire. — 213. Divergence entre les interprétations. — 214. Doctrine adoptée par le conseil d'Etat. — 215. Doctrine adoptée par le tribunal des conflits. — 216. Conséquence de cette diversité d'opinions. — 217. Les délimitations doivent être aussi rares que possible et ne s'effectuer que quand l'intérêt général est en jeu. — 218. Point de départ dans la recherche de la limite du lit. — 219. Interprétation primitivement donnée à la définition par l'autorité administrative. Ses dangers. — 220. Réforme opérée par le conseil d'Etat. — 221. Limite du lit d'après le conseil d'Etat. Manière d'opérer correspondante. — 222. Marche à suivre pour ne pas s'exposer à la critique des tribunaux ordinaires. — 223. Résumé de la méthode à employer.

## S Ior

#### LÉGISLATION QUI RÉGIT LA SERVITUDE DE HALAGE

196. Origine de la servitude de halage. — ll est probable que la servitude de halage a été de tout temps imposée aux propriétés riveraines des rivières navigables. On en trouve la preuve dans l'ordonnance de François I<sup>er</sup> du mois de mai 1520, dont l'article 3 est ainsi conçu :

« Item et, pour ce que de toute ancienneté, sur et au long des bords et rivages des dites rivières, tant comme elles se comportent et étendent de toutes parts, en quelque état que les eaux soient hautes, moyennes ou basses, doit avoir chemin de 24 pieds de lez pour le trait des chevaux tirant les nefs, bateaux et vaisseaux... »

L'ordonnance des eaux et forêts du mois d'août 1669 a reproduit en les précisant ces dispositions dans son art. 7, ainsi concu:

« Les propriétaires des héritages aboutissant aux rivières navigables, laisseront le long des bords 24 pieds au moins (7<sup>m</sup>,80) de place en largeur pour chemin royal et traits de chevaux sans qu'ils puissent planter arbres ni tenir clôture ou haie plus près de 30 pieds (9<sup>m</sup>,75) du côté que les bateaux se tirent et 10 pieds (3<sup>m</sup>,25) de l'autre bord.»

Quelque temps après, en 1672, l'ordonnance de décembre rappelant celle de 1669, a fixé à 24 pieds (7<sup>m</sup>,80) la largeur destinée au halage sur les rivières navigables (Art. 3, chap. I<sup>r</sup>), et à 4 pieds (1<sup>m</sup>,30) le marchepied à ménager sur les rivières flottables dans tout le bassin de la Seine (art. 7, chap. 17). Aucune distinction n'était faite d'ailleurs entre les deux rives.

En 1777, le 24 juin, un arrêt du Conseil d'État du roi, portant règlement pour la navigation de la rivière de Marne et autres rivières et canaux navigables, a confirmé les dispositions des ordonnances antérieures, en les étendant aux îles et en rappelant (art. 1 et 2) que le chemin de halage devait avoir 24 pieds le long des bords.

Le 13 nivôse an V (2 janvier 1797), un arrêté du Directoire exécutif (art. 2 et 3) a maintenu les dispositions de 1672 et de 1777.

Ensin le décret du 22 janvier 1808 a appliqué à toutes les rivières de l'empire les dispositions de l'art. 7, titre 28 de l'ordonnance de 1669, en y apportant (art. 4) cette modération que « l'administration pourra, lorsque le service n'en souffrira pas, restreindre la largeur des chemins de halage. »

197, La servitude de halage s'étend sur les deux rives. -- Il résulte de cet ensemble de prescriptions que la servitude de halage embrasse une étendue de terrain qui peut être de 7",80 (24 pieds) sur chaque rive. L'ordonnance de 1669 est la seule qui parle d'un marchepied de 3m,25, mais les règlements qui l'ont suivie ne reproduisent en rien cette disfinction et spécifient au contraire que la servitude s'exerce sur les bords et même dans les îles. Le décret de 1808, il est vrai, rappelle l'ordonnance de 1669 seule; mais il avait évidernment pour but d'appliquer cette ordonnance aux pays annexés récemment à l'Empire et non de modifier les règlements qui régissaient antérieurement le territoire français. Observons d'ailleurs que le halage pouvant passer d'une rive a l'autre toutes les fois que les circonstances locales l'exigent, le marchepied, si on lui reconnaissait une existence légale, Pourrait à un moment donné être transformé en chemin de halage et retomber sous l'application du règlement.

198. Place de la zone frappée de la servitude de la salage. — Voyons maintenant dans quelle mesure peut servercer la servitude du halage.

D'abord sur quelle zone s'exercera-t-elle, c'est-à-dire à

partir de quel point doit-on compter les 7m,80?

L'ordonnance de 1669 et l'arrêt de 1777 spécifiant que le chemin de halage sera le long des bords de la rivière, le chemin doit commencer là où finit le lit de la rivière. Or, si dans bien des circonstances, les limites du lit d'une rivière sont aisées à reconnaître, il en est d'autres dans lesquelles on se trouve en face d'un doute absolu. Nous donnerons tout à l'heure quelques notions sur la délimitation du lit des cours d'eau qui est une des questions les plus incertaines du droit administratif, et nous nous bornerons pour le moment à dire que l'administration a adopté pour doctrine en matière de ser vilude de halage la règle suivante : Lorsque la pente de la rive est assez donce pour que les hommes et les chevaux puissent y cheminer, le chemin de halage compte sa largeur à partir de la laisse des eaux à la hauteur desquelles cesse la pavigation. Cette interprétation des règlements, qui a res-

treint au strict nécessaire la servitude indéfinie qu'imposait l'ancienne ordonnance de 1520, n'a été jusqu'ici l'objet d'aucune critique sérieuse, et s'est appliquée sans difficulté.

On comptera donc les 7<sup>m</sup>,80 à partir de la berge lorsqu'elle est apparente et à partir de la laisse des plus hautes eaux navigables, lorsque la rive n'est pas nettement indiquée.

199. Droits respectifs de l'Administration et des riverains. — Mais il ne faut pas perdre de vue que la zone ainsi définie n'est frappée que de servitude et n'a à supporter aucune autre charge que celles que la loi lui impose. Ainsi l'arrêt de 1777 se bornant à défendre de planter des arbres ou des haies, d'établir des fossés, clôtures et bâtiments plus près que de 30 pieds (9<sup>m</sup>,75) du bord de la rivière, on ne peut rien exiger au delà.

Il serait impossible par exemple de demander aux propriétaires un entretien quelconque du chemin de halage, cet entretien dût-il se borner à l'essartage des bois et broussailles qui croissent naturellement sur le sol et gênent le halage. Cette opération doit être faite aux frais de l'État quand les riverains ne l'exécutent pas eux-mêmes. (Décision

de M. le Directeur général du 22 janvier 1827.)

On n'a pas davantage le droit d'empierrer les chemins de halage ou d'y déposer les produits des curages de la rivière sans l'assentiment du propriétaire; cet assentiment est rarement refusé, parce que la régularisation du bord de la rivière y fixe la circulation et empêche la création des sentiers destinés à faire éviter les mauvais passages à travers le reste de la propriété. Toutefois, s'il y avait opposition formelle, il pourrait y avoir lieu à indemnité (Décision de M. le directeur général du 26 septembre 1827).

La servitude imposée aux riverains, étant exclusivement réservée au service de la navigation, ne peut créer aucun droit non seulement de dépôt, mais encore de passage pour

tout ce qui est en dehors de ce service.

En un mot, la servitude du halage étant légale peut s'exercer toujours et partout, mais ne peut s'exercer que dans les limites strictement prévues par la loi. Il n'v a d'exception que pour les cours d'eau du bassin de la Seine, lesquels sont soumis en vertu de l'ordonnance du mois de décembre 1672 à un régime spécial, autorisant sur leurs bords, indépendamment du transit de halage, certains dépôts dans des conditions déterminées dont nous n'avons pas à parler ici.

### § II

# CONDITIONS TECHNIQUES DU HALAGE

Le halage des bateaux est une opération pénible, lente, conteuse, qu'il faut s'efforcer de placer dans les meilleures conditions possibles. Sur les rivières, surtout, elle constitue l'élément prépondérant du frêt.

- Continuité. En première ligne, on doit recommander sa continuité, chaque arrêt est une perte considérable de temps et de force, puisqu'il remet en jeu l'inertie du bateau au départ, c'est-à-dire un effort exceptionnel.
  - chemin de halage sera maintenu sur la même rive; on choisira celle qui est la plus rapprochée du chenal, la plus praticable en toute saison et la plus commode pour soutenir les bateaux contre l'effet de dérive produit par les vents violents. Ce dernier effet peut faire varier du simple au double la force de traction.
  - dans des îles, parce que l'on serait obligé de faire traverser aux chevaux deux fois le bras non navigable, ce qui exigerait un gué, l'emploi de bateaux spéciaux ou une passerelle. Cepen dant, si le trafic justifiait l'établissement d'une passerelle, mieux vaudrait avec cette addition utiliser les bords de l'île que changer deux fois de rive.

203. Hauteur. — On s'efforcera de l'établir partout : niveau des hautes eaux navigables, ou mieux un peu au-dessu car c'est à ce moment que les courants ont la plus grande for et que la traction a besoin de se développer.

Peut-être ces conditions diverses ne pourront-elles pas êt remplies à la fois; il y aura alors, dans chaque cas particulie une pondération à faire entre les avantages et les inconvénient pondération dans laquelle il convient de faire entrer largeme les habitudes locales, qui pèsent tonjours d'un grand poi dans les questions commerciales.

204. Passage des affluents. - Une des difficultés inév tables du halage, c'est le passage des affluents. Lorsq l'affluent est considérable, ce qu'il y a de mieux à faire est changer de rive afin de l'éviter; car l'emploi de bateaux affec au passage des chevaux n'est vraiment réalisable que sur points spéciaux où un bac se trouve établi à l'avance. Lorsqu contraire le cours d'eau est sans importance, on le franchi l'aide d'une passerelle dont le tablier, placé au niveau deberge, repose sur deux culées en maconnerie, auxquelles il ancré toutes les fois qu'il est exposé aux submersions. tablier peut être en bois ou en fer, mais dans tous les cas doit présenter le caractère de simplicité et d'économie répond à la circulation restreinte qu'il dessert. Sur les fos ou ruisseaux très petits, lorsque la localité se prête à la con truction d'un aqueduc maçonné, il est bon d'y avoir recom afin d'éviter les frais dispendieux d'entretien qu'exigent d constructions en bois exposées à des alternatives de sec d'humide. Il faut aussi ne jamais négliger de terminer le gard corps, du côté de la rivière, par deux lisses en bois ou en f sur lesquelles peut couler à frottement doux le câble augu sont attelés les chevaux.

205. Difficultés à la rencontre des ponts. Procéde employés. — Le halage est exposé souvent aussi à des interruptions au passage des ponts du cours d'eau le long duquel s'opère. Lorsque l'arche marinière n'est pas attenante à la ri du halage, lorsque même dans ce cas la continuité du chem

n'a pas été ménagée sous cette arche, il faut que tout bateau montant s'arrête, que les chevaux dételés ou débillés passent d'une tête à l'autre du pont, puis qu'un batelet aille reprendre Le câble de halage pour le fixer au bateau. Alors tout le système see remet en mouvement dans les plus mauvaises conditions, Puisqu'il se présente à une section rétrécie sans vitesse acquise, est-à-dire sans action sûre du gouvernail. A la descente, où l'impulsion n'est pas nécessaire, mais où la direction est indis-Pensable pour peu que le courant ne soit pas précisément orienté comme les piles du pont, le débillage a presque autant d'inconvénients, en sorte que l'on peut dire que l'interruption du chemin de halage au passage des ponts crée parfois à la navigation un véritable danger.

Lorsque ce cas se présente, et il se présente souvent, s'il est impossible d'établir une banquette de halage sous l'arche marinière, il faut multiplier les boucles ou pieux d'amarrage à l'amont et à l'aval de facon à ce que le bateau trouve à sa convenance un ou plusieurs points fixes auxquels il s'amarre. En combinant la résistance de ces points fixes avec l'effort de traction des chevaux ou avec l'impulsion du courant, on arrive mienx à être maître de la ligne à suivre et l'on peut éviter les

accidents.

206. Passage du Pont-Royal. — On a eu quelque temps recours à Paris, au Pont-Royal et au petit pont près du quai Saint-Michel, à une poulie de retourfixée à la tête aval du pont, et sur laquelle on faisait passer la corde de halage; les chevaux alors revenaient sur leurs pas et montaient les bateaux jusque Lout près du pont. Arrivé là, il n'en fallait pas moins débiller et il est vraisemblable que cette solution de la difficulté n'était pas suffisante, puisque l'usage ne s'en est pas répandu. Dans toutes ces questions, du reste, il y a tant de circonstances locales à envisager qu'il est impossible de poser des règles, et si l'on veut améliorer un passage de ce genre, c'est avec les mariniers pratiques qu'il faut combiner les dispositions à adopter.

207, Placer le chemin de halage sous l'arche mariniere. - Aujourd'hui on s'efforce partout et avec raison

d'assurer la continuité du halage en pratiquant sous l'arche marinière un passage attaché à la rive. Ce chemin peut se réduire à 2<sup>m</sup>,20 ou 2<sup>m</sup>,50; il est mieux à 3 mètres, mais quelque petit qu'il soit, s'il suffit au passage d'un homme, il est encore d'un grand secours. Lors donc qu'on peut l'établir, il ne faut pas hésiter; si la voûte du pont est, aux naissances, trop basse pour livrer un passage facile au-dessus des plus hautes eaux mieux vaut abaisser l'assiette du chemin et l'exposer à être demps en temps submergé que de se priver des services qui peut rendre. Dans ce cas on a soin que le parapet soit as élevé pour prévenir les accidents, en limitant d'une maniquisible le passage à suivre.

Nous n'insisterons pas, d'ailleurs, sur ces détails, prquement intéressants, mais peu susceptibles de règle généme

#### § III

# DÉLIMITATION DU LIT DES COURS D'EAU

La délimitation du lit des cours d'eau, avons-nous dit phaut, est une des questions les plus incertaines du d'administratif; comme conséquence naturelle, c'est aussi des plus délicates que l'ingénieur ait à traiter. Elle soulève discussions de fond, de forme et de compétence si ardues qu'on hésite à formuler une opinion péremptoire. Nous l'abderons cependant, car quelque hasardeuse que soit l'opérati qui consiste à délimiter le lit d'un cours d'eau, comme il la dans la pratique que l'on y procède, comme l'ingénieur abandonné à lui-même pour ses recherches et ses proposition il est nécessaire qu'il adopte une méthode raisonnée, ne fûtque comme point de départ.

Dans cette recherche, nous serons forcé de faire quelquexcursions sur le terrain du droit administratif; mais il nest absolument impossible d'échapper à cette nécessité.

matière contentieuse, le droit et le fait sont liés si intimem

qu'on ne peut envisager l'un sans l'autre.

Aux termes de l'article 538 du Code civil, les rivières navigables et flottables sont considérées comme des dépendances du domaine public. D'autre part, la loi du 22 décembre 1789 a confié à l'administration la conservation des rivières, chemins etautres choses communes; enfin la loi des 12-20 août 1790 lui a attribué la police des eaux. De cet ensemble de dispositions législatives, il résulte que l'État est considéré comme propriétaire et surtout comme administrateur des cours d'eau navigables et flottables.

209. Cette propriété est soumise à de nombreuses restrictions. - Ce n'est pas que sa propriété soit celle que définit le Code « le droit de jouir et de disposer des choses de la manière la plus absolue; » loin de là! Il dispose des eaux et du lit des cours d'eau dans un but d'intérêt général, et non autrement. Il ne lui appartient pas de départager les intérêts Privés qui s'y rattachent ou de les gêner si l'utilité publique ne l'exige pas; en un mot il est gardien et tuteur plutôt que posses-Seur. Nous avons eu occasion de développer cette manière de voir à propos d'une contestation entre un usager du domaine Public et un riverain, au sujet de l'occupation de la rive dans sa Partie baignée par les eaux, « Les droits respectifs de l'État et des riverains, en matière de cours d'eau, disions-nous, ne sont pas aussi nettement séparés qu'on le suppose généralement. Sans doute l'État, chargé de la police des eaux, peut dans une certaine mesure, lorsque l'utilité publique est en jeu, transformer le lit des cours d'eau; mais ce droit ne peut s'exercer qu'au nom de l'intérêt général, et en dehors de cette considération l'administration ne peut qu'éviter de modifier la propriété privée. Or, la propriété riveraine et la rive sont lices d'une façon absolument intime; toucher l'une c'est toucher l'autre, c'est intervenir, et l'administration n'a pas à le faire quand un besoin public ne le commande pas. » Ces réflexions ont été reproduites et approuvées par une décision ministérielle du 3 juillet 4877, sur avis conforme du Conseil général des ponts et chaussées.

210. Elle a le privilège de se délimiter elle-même. — C'est donc une possession toute spéciale que celle du lit de cours d'eau, possession qui subit de nombreuses restrictions mais qui en revanche est dotée du privilège de se délimite elle-même. Il est admis, sans contestation, que l'autorité admistrative a le droit de fixer les limites du lit des cours d'ea navigables et flottables, et c'est aux préfets qu'appartient cett-faculté, sur les propositions des ingénieurs. C'est là une conséquence naturelle de la prépondérance de l'intérêt généras sur les intérêts particuliers.

211. Droit à peu près arbitraire de l'Administration jusqu'en 1856. — Jusqu'en 1856, cette faculté a été considérée comme absolue, et les arrêtés des préfets, en matière de délimitation, n'étaient pas attaquables par la voie contentieuse. Ils ne faisaient pas obstacle toutefois à ce que les riverains, s'ils croyaient avoir des droits sur le sol englobé par une délimitation, les fissent valoir devant les tribunaux ordinaires et obtinssent une indemnité.

212. Doctrine de l'autorité judiciaire. — L'autorité judiciaire de son côté avait fait observer, antérieurement déjà, que la délimitation du lit était aussi celle de la propriété riveraine. Or, la propriété particulière est sous sa sauvegarde, et si un arrêté préfectoral vient y porter atteinte, les tribunaux sont dans leur rôle et dans leur compétence en allouant une indemnité proportionnée au préjudice qu'ils jugent causé, la mesure administrative continuant ailleurs d'avoir son cours.

213. Divergence entre les interprétations. — L'accord, au fond, était moins réel qu'apparent entre ces deux doctrines. En proclamant que le riverain était libre de s'adresser aux tribunaux ordinaires pour faire valoir ses droits, l'autorité administrative estimait que ces tribunaux se borneraient à apprécier les titres ressortissant à leur compétence et non l'état même des terrains discutés. L'autorité judiciaire, au contraire, se réservait une appréciation complète et absolue; et, tout en respectant la décision préfectorale, elle en compensait

les effets, s'il y avait lieu, par une indemnité qui était à sa disrétion, comme la délimitation était à la discrétion du préfet.

≥ 1 1. Doctrine adoptée par le Conseil d'État. — Le Conseil d'État sentit le danger de ce double arbitraire, et adopta la doctrine suivante :

La délimitation du lit des cours d'eau n'est et ne peut être que la reconnaissance d'un état de ce cours d'eau à un moment donné. Les préfets excèdent leurs pouvoirs lorsqu'ils sortent de ce point de droit, et tout arrêté de délimitation qui s'en écartera sera annulé par le Conseil d'État, juge compétent dans la ma atière; la propriété privée trouvera donc là toutes les garanties désirables.

Mais si la délimitation n'est que la constatation d'un fait, d'un phénomène naturel de force majeure comme les varia-Lions du lit d'un cours d'eau, cette constatation ne peut sous aucun prêtexte faire l'objet d'une indemnité, et la chose jugée peut être remise en question, fût-ce sous la forme de dédomgement. Le recours aux tribunaux n'est donc possible dans ce système que pour tenir compte de titres autres que ceux qui résultent de l'état des lieux, au moment où le fait se constate.

215. Doctrine adoptée par le tribunal des conflits. -Le tribunal des conflits a donné gain de cause à la doctrine de l'autorité judiciaire. Il a décidé qu'il appartenait à celle-ci (11 janvier 1873, de Paris Labrosse) « de reconnaître le droit de propriété invoqué devant elle, de vérifier si le terrain litigieux a cessé par le mouvement naturel des eaux d'être suseptible de propriété privée, et de régler, s'il y a lieu, une inde mnité de dépossession, dans le cas où l'administration maintiendrait une délimitation contraire à sa décision. »

Il a même été plus loin (1° mars 1873, affaire Guillié); il a déclaré que si, en cas de contestation sur les limites actuelles des cours d'eau, la détermination de ces limites par l'autorité administrative est préjudicielle à toute décision de l'autorité judiciaire, il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit de rechercher les Limites anciennes; pour prononcer sur cette question, l'autorité judiciaire n'est pas obligée de surseoir, et il n'appartient

qu'à elle de statuer.

216. Conséquence de cette diversité d'opinions De cette diversité d'opinions, il résulte que tout propriét riverain qui se croit lésé par un arrêté de délimitation a é manières de se défendre et peut ou choisir celle qu'il préf ou les employer concurremment.

Il peut déférer l'arrêté au Conseil d'État, pour excès de p voir, et le faire annuler. Le Conseil d'État, jaloux de prou que la propriété privée est sauvegardée par sa doctrine, nulle toutes les fois qu'il peut y avoir doute, et les doutes s

faciles à faire naître en semblable matière.

Le riverain peut encore accepter la délimitation telle qu' est, et en poursuivre le dédommagement devant les tribun ordinaires qui l'indemniseront, s'il y a lieu, « au cas, dit le ; mier des arrêtés que nous venons de citer, où l'administrat maintiendrait sa délimitation. » Il semble que, dans la pen du tribunal des conflits, il y ait pour l'administration moyen de reculer en ne maintenant pas sa décision et en déjugeant. C'est là, qu'on nous passe le mot, un expédi qu'il est difficile d'accepter. Si l'administration est compéte pour reconnaître les limites du domaine public, sa compéter ne peut pas tomber, parce qu'un tribunal est d'un avis c traire au sien; si, après mure instruction, elle a fixé les limi du domaine public imprescriptible et inaliénable, elle ne p en reconnaître une portion comme susceptible de propri privée, uniquement pour s'éviter le payement d'une indemni Se laisser aller à une alternative de ce genre, ce serait sacril un des principes fondamentaux du droit administratif, et plu que de méconnaître ce principe, il vaut encore mieux pay pour qu'on l'applique.

Il résulte de tout ceci que, comme nous le disions, les prositions des ingénieurs en matière de délimitation ont dout chance d'être battues en brèche, et doivent respecter avec soin scrupuleux la manière de voir du Conseil d'État, préviter l'annulation, et la manière de voir des tribunaux po

éviter l'indemnité.

217. Les délimitations doivent être aussi rares que Possible et ne s'effectuer que quand l'intérêt général est enjeu. - Concluons-en d'abord que les délimitations doivent être aussi rares que possible. Si nous nous sommes bien fait comprendre, la fixation des limites du lit d'un cours d'eau n'est en rien le moyen de mettre un terme à un litige entre propriétaires voisins; c'est la simple constatation d'un fait d'intérêt général et le maintien au cours d'eau du vase qu'il s'est créé luimême. Si l'écoulement des eaux n'est pas en jeu, le pouvoir délimitant de l'administration n'a pas de raison pour s'exercer; c'est vraisemblablement pour être sorti de ce sage principe qu'on a amené l'intervention active des tribunaux, au nom de la propriété privée. Le mieux est d'y rester fidèle et de se refuser, jusqu'à ordre formel, à toute délimitation qui n'a pas pour but d'assurer à l'écoulement des eaux le lit que la nature leur assigne. Hors de ce programme, c'est une question d'intérêt privé que l'administration n'est pas chargée de résoudre.

Passons maintenant au cas où, l'intérêt général étant en jeu, il y a lieu d'effectuer la délimitation, et cherchons les règles qui peuvent guider l'ingénieur au milieu des écueils que nous

avons signalés.

218. Point de départ dans la recherche de la limite du lit. — Il est un point sur lequel le Conseil d'État et la Cour de cassation sont toujours demeurés d'accord, c'est que :

"Le lit des fleuves et rivières comprend tout le terrain qu'atteignent et couvrent, dans les habitudes de leur cours et sans débordement, les eaux parvenues à leur plus haut point d'élévation. » Cette définition, qui n'est cependant pas un texte de loi, semble admise par les deux juridictions, et c'est elle qui sert de point de départ aux délimitations.

219. Interprétation primitivement donnée à la définition par l'autorité administrative. Ses dangers. — L'administration, dans l'interprétation pratique qu'elle en avait faîte, avait considéré le lit comme s'étendant jusqu'au point où, sur chaque bord, la rive rejoint le sol naturel de la vallée. Il en résultait que, pour elle, le débordement pouvait commencer à des hauteurs différentes sur deux points voisins de la même rive, ou sur deux points placés l'un en face de l'autre sur les deux rives. En procédant sur cette base, en cherchant sur chaque point du cours d'eau, et d'après des impressions toutes de sentiment, la trace d'une rive souvent absente, on est certain d'aboutir à un jugement tout à fait personnel à celui qui le porte, c'est-à-dire toujours contestable. Il est impossible d'ailleurs de justifier devant le juge des mille circonstances de détail qui ont pu entraîner la conviction de celui qui était sur les lieux, et il en résulte une hésitation bien naturelle à sanctionner une appréciation dont les éléments échappent.

220. Reforme opérée par le Conseil d'État. — Le Conseil d'État, dans la campagne qu'il ouvrait contre l'arbitraire (dans le bon sens du mot) ne pouvait laisser passer ce procédé pratique, qui était de nature à justifier l'intervention des tribunaux. Ce n'est pas que, sur bien des points, la rive ne soit assez nettement accusée pour que le bon sens ne suffise à trancher la question; mais ce n'est jamais là que naissent les litiges, c'est sur les atterrissements qui se formen insensiblement et où la crête de la berge, tantôt n'existe pastantôt n'est pas unique. Là, il faut le reconnaître, on pertout guide si l'on ne se rattache à un phénomène d'ensemble pour remonter du connu à l'inconnu.

Ce phénomène d'ensemble ne pouvait être que « le lit « pleins bords, avant tout débordement » ou le « plenissa « mum flumen » de la jurisprudence, ou « les hautes eaux « de la navigation » pour employer le langage dont nous nous sommes servi jusqu'ici. Aussi le Conseil d'État, le 23 avril 1875, a-t-il déclaré « que le préfet excédait ses « pouvoirs en fixant la limite d'un fleuve à la ligne de crête « de la rive, lorsque cette ligne de crête est notablement « supérieure aux plus hautes eaux navigables, sans débor-

« dement. » (Affaire Belamy.)

Ultérieurement, le 29 juin 1877 (affaire Mandement), il a décidé qu'il n'y avait pas excès de pouvoir lorsque le préfet se borne à fixer la limite du lit à la laisse des hautes eaux navigables, avant tout débordement. \*\*Della Limite du lit d'après le Conseil d'État. Manière d'opérer correspondante. — La jurisprudence du Conseil d'État semble donc fixée, et on évitera ses rigueurs en limitant le lit, jusqu'à nouvel ordre au moins, au niveau des hautes eaux navigables<sup>1</sup>.

Mais où fixer les hautes eaux navigables? Évidemment c'est au point où les chemins de halage commencent à se submerger, car c'est alors que, dans l'acception la plus stricte du mot, le débordement débute et la navigation s'arrête. Insistons un peu sur ce détail spécial, qui va servir de base à l'opération.

Lorsqu'on examine un cours d'eau, au début d'une crue, on voit, dans le sillon tracé] par le lit, les atterrissements de la rive convexe se couvrir peu à peu, et il arrive un moment où le sillon étant plein, sa largeur devient sensiblement uniforme, ou au moins régulière.

Très peu après, les eaux montant encore, on voit la nappe pénétrer par places dans la vallée; le débordement est commences

C'est donc un peu avant cette seconde période qu'était réalisé le « Plenissimum flumen, » c'est-à-dire l'état du fleuve à pleins hords et sans débordement, ou les hautes eaux navigables.

Que l'on fixe à ce moment la trace laissée sur les berges, en procédant par l'observation, ou à défaut d'expériences directes en s'aidant du calcul et de l'analogie, la délimitation qui s'ensuivra rentrera scrupuleusement dans la définition admise par les deux juridictions, et ne pourra être taxée d'excès de pouvoir. Elle sera en outre d'accord avec les récentes décisions du Conseil d'État.

<sup>1.</sup> Il ne faut pas attribuer aux mots « hautes eaux navigables » ou hautes eaux de navigation » un sens absolument textuel. Il est évident qu'avec des bateaux à vapeur ou à voiles, et même avec des bateaux ordinaires et un chemin de halage surélevé, on pourrait reculer beaucoup le moment où la navigation doit cesser. L'expression « hautes eaux navigables » u'est donc pas heureusement choisie : elle ne répond pas à la pensée réelle qui est, comme nous l'avons dit plus haut « les eaux parvenues à leur plus haut point d'élévation, sans débordement. » L'addition « sans débordement » ou « avant tout débordement», qu'on trouve daus les arrêtés du Conseil d'État, ne laisse aucun doute sur sa véritable jurisprudence. Le dernier de ces arrêtés, du 28 avril 1882 (affaire Fouché et Duret Tavernau ; Anuales, février 1883) confirme pleinement ceux que nous avons cités plus baut.

Mais, observera-t-on, la même crue ne se fait pas sentir partout de la même manière, tantôt le maximum s'abaisse en allant vers la mer, tantôt un affluent le relève, en sorte qu'une crue peut arriver jusqu'au débordement dans une certaine partie de rivière, et à quelques kilomètres de là se tenir au dessous de la limite du lit.

Le fait est incontestable, et il faut en tenir compte en fractionnant la rivière en autant de sections qu'il y a de changements de régime. On ira d'un pont à un affluent, d'un
rétrécissement à un coude brusque, etc. C'est dans chacune de ces sections qu'on cherchera le plenissimum flumen
qui lui convient. Pour nous résumer en une règle, nous dirons:

"On fractionnera la longueur à délimiter en autant de sections qu'il y a de changements de régime, et on considérera

"comme la limite du lit, dans chacune d'elles, la trace que

"laisserait sur les deux rives une crue s'élevant précisément

"au nivean des terrains les plus bas de la section. "Nous
estimons que, dans ces conditions, on se trouvera à l'abri des
critiques du Conseil d'État.

222. Marche à suivre pour ne pas s'exposer à la critique des Tribunaux ordinaires. — Reste l'examen des tribunaux ordinaires, auxquels il faut que l'on puisse prouver, le cas échéant, qu'on n'a demandé aux propriétés aucun autre sacrifice que celui qui leur est imposé par leur situation même sur le bord du cours d'eau.

Ici, le soin que nous avons eu de rester dans la plus stricte interprétation de la définition admise pour le lit des fleuves, sera un premier argument. On établira aisément, s'il le faut, à l'aide de profils, que l'on a choisi pour commencement du débordement la hauteur à laquelle se submergent les terres riveraines les plus basses; il s'ensuivra qu'on ne pourrait faire moins, sans s'écarter du texte même de la loi précitée « qui veut que les eaux soient parvenues à leur plus haut point d'élévation, sans « débordement. »

Nous conseillons même d'aller un peu plus loin :

La crue spéciale dont nous avons parlé et qui nous sert de module, dessine sur les rives par son niveau un certain périre, lequel comprend une succession de saillants et de rents, suivant les caprices du terrain. Beaucoup de ces ces ces rentrants, sans profondeur, sans débouché, sont pés au moment de la crue par une eau dormante, et ne courent pas avec le lit proprement dit à l'écoulement de le cue. Il nous semble inutile dès lors d'en réclamer la propiété, puisqu'ils ne remplissent pas la destination d'utilité per lique qui justifierait seule leur inaliénabilité. Ils peuvent la propriété de l'État, si l'État a su y établir et y mainte rese droits; mais ils ne sauraient être considérés comme portion essentielle du cours d'eau et il est sage de ne pas le sevendiquer à ce titre.

n réunira donc les caps dessinés par le tracé du plenissimen, par des lignes droites ou courbes qui circonsent l'écoulement, et ce qui restera entre ces lignes sera le table lit imprescriptible inaliénable, nous pourrions presque

a jourter indiscutable.

a délimitation ainsi faite écartera toute idée d'empiète-

memt et par suite toute indemnité.

n trouvera peut-être que cette manière d'opérer restreint coup le domaine public et le réduit à son minimum. Nous le nions pas ; mais c'est, à notre sens, ce que veut la situadans laquelle l'Administration se trouve placée. La loi, cu lui confiant la possibilité de se faire sa part elle-même, sans prosition possible, a créé en sa faveur une exception qui comme toutes les exceptions est de droit étroit, et l'oblige à ne prendre que le strict nécessaire. Il ne s'agit pas ici de gagner de l'espace et de faire œuvre d'administration bonne ou mauvaise, il s'agit simplement de constater ce que le cours d'eau occupe et de le lui conserver, et si dans cet ordre d'idées les mesures administratives ne sont pas empreintes de la plus extrême modération, elles donneront naissance à des actions en justice pleines de péril pour les finances publiques.

223. Résumé de la méthode à employer. — En résumé, dans l'état actuel de la jurisprudence, nous estimons que, pour effectuer une délimitation dans des conditions permettant d'en espérer le succès, il faut :

l'écoulement des eaux de ple

4° Et prendre le reste seul
imprescriptible et inaliénable.
Telle est notre conclusion
l'avons déjà dit, l'état de la lé

# CHAPITRE X

# DES INONDATIONS

#### SOMMAIRE:

\$ 1ex. — Des inondations en général : 224. Les effets produits par les inondations sont très divers. — 225. Les dépôts ne sont pas nécessaires pour assurer la production du sol. Limons. Matières dissoutes. — 226. Causes des

tions sont très divers. — 225. Les dépôts ne sont pas nécessaires pour assurer la production du sol. Limons. Matières dissoutes. — 226. Causes des inondations. Moyens d'agir sur elles.

2. — Des curages : 227. Les curages sont un déplacement du mal et non un remêde. — 228. Rôle de l'Administration dans les questions de curage.

3. — Des emmagasinements d'acu vers les sources : 229. Utilité des emmagasinements. — 230. Exemples naturels. Terrains perméables. Lacs. — 231. Influence des cultures. — 232. Les déboisements augmentent les inondations. Effet des forêts. — 233. Effet des gazonnements. — 234. Effet des drainages. — 235. Le remède est lent, mais sûr et favorable à l'agriculture. — 236. Réservoirs artificiels. Leur prix élevé. — 237. Objections techniques aux réservoirs. — 238. Réponse à ces objections. — 239. Les inondations ne sont pas le seul intérêt en jeur. — 240. Pertuis imités de la digue de Pinay. — 241. Effet produit par la digue de Pinay. — 242. Des étangs. Ils favorisaient l'irrigation. — 243. Le dessèchement des étangs n'est qu'un bénéfice particuller. — 244. Insalubrité des étangs. — 245. Résumé de la discussion en ce qui concerne l'emmagasinement des eaux.

4. — Des endiquements : 246. Mode d'écoulement de la nappe d'inondation. — 247. Idée première de l'endiquement. — 248. Exemple du Pô. — 249. Dimensions du bassin du Pô. Pente et relief du sol. — 250. Profil des digues. — 251. Longueur des digues et périmètre défendu. — 252. Effets de l'endiquement sur les crues. — 253. L'endiguement doit être àccompagné de travaux d'irrigation et de dessèchement. — 254. Le retrécissement du champ d'mondation a fait exhausser les digues. — 255. Nombres de ruptures des digues. — 256. Opinion de M. Belgrand sur l'endiguement du Pô.

5. — Endiquements de la Loire : 257. Disposition du sol dans le bassin de la Loire. — 258. Espacement des digues. — 259. Fôrme des digues. — 260. Conséquence des dispositions adoptées pour la Loire. — 261. Comparaison de ces dispositions dans la vallée du Pô. Et dans celle de la Lo

adopter. — 274. Dispositions techniques. — 275. Les digues supportent mal la submersion. — 276. Rupture par imbibition. — 277. Procédés de réparation. Empêcher la digue de se mouiller. — 278. Changer la constitution de la digue au point où elle fuse. — 279. Consolidations accessoires. — 280. Digues qui couvrent les centres habités. — 281. Digues à ouvrir à l'écoulement des crues. Deux ordres d'idées distincts. — 282. Vues qui se sont révèlées dans le public. — 283. Interruption des digues de distance en distance. — 284. Abaissement des digues à l'aval en plan incliné. — 285. Abaissement général des digues. — 286. Déversoirs étagés de l'aval à l'amont. — 287. Résumé.

§ 7. — Des endiguements submersibles : 288. Idée de principe. — 289. Incertitude du niveau de protection. — 290. Digues transversales, — 291. Prix et dangers de l'endiguement submersible.

§ 8. — Résumé et conclusion : 292. Résumé de la discussion. — 293. Ouvrages à consulter.

a consulter.

#### Figures :

Digue du Pô, art. 250. - Levée de la Loire, servant de route, art. 259.

#### Petites planches :

Le bassin du Pô, de Crémone à Ferrare, art. 249. — Digues de la Loire, dites insubmersibles. Profils en travers, art. 259. — Déversoir du Bec-d'Allier art. 265.

# S Ier

# DES INONDATIONS EN GÉNÉRAL

224. Les effets produits par les inondations sont divers. - Les effets produits par les débordements sont essentiellement divers. Quand l'inondation descend tout à coup de la montagne dans la plaine, envahissant brusquement les campagnes et les villes, renversant les maisons, détruisant tout sur son passage, c'est le plus redoutable des fléaux ; et les désastres qu'elle cause sont tels qu'on ne peut discerner qu'eux. Quand au contraire la nature perméable du sol, aussi bien que la distribution des pluies, permettent au cours d'eau de monter lentement en envahissant progressivement les terrains de sa vallée, pour y déposer en temps utile un limon fécondant, l'inondation est un grand bienfait. Sans parler de la vallée du Nil, qui est la terre classique des limonages et qui leur doit sa fécondité toujours renaissante depuis tant de siècles, nous avons sous les yeux des vallées comme celles de

la Saône, de la Moselle, de la Charente, dans lesquelles l'absence de débordements hivernaux est considérée comme un malheur. Bordées de prairies, ces rivières y portent annuellement la richesse; et, dans une certaine limite, chaque submersion mesure l'abondance de la récolte qui va suivre.

225. Les dépôts ne sont pas nécessaires pour assurer la production du sol. Limons. Matières dissoutes. -Il n'est même pas nécessaire, pour arriver à ce résultat heureux, que les eaux soient chargées de dépôts. « Les eaux courantes, même non limoneuses, dit M. Nadault de Buffon', renferment des principes fertilisants d'une haute valeur agricole, dont elles se dépouillent au profit du sol, par le seul fait d'une stagnation suffisamment prolongée ..... Le fait le plus concluant à citer en ce sens est celuique constatent les vastes herbages de la Normandie, dont plus de 10.000 hectares sont entretenus dans leur maximum de production par le seul effet de submersions naturelles appliquées exclusivement en hiver, l'irrigation d'été étant complètement inconnue dans cette région. Si le fait qui vient d'être énoncé n'était pas parfaitement exact, comment pourrait-on s'expliquer le maintien indéfini de la fécondité de ces herbages, laquelle est représentée par une production annuelle de 400 à 500 kilogrammes de viande à l'hectare, tandis qu'elle tombe presque à rien si ce mode de bonification leur est retiré ». Nous avions donc le droit de dire que, dans ces conditions, l'inondation est un bienfait.

Malheureusement, dans la plupart des cas, le bien et le mal se mêlent; et c'est là une des raisons qui rendent si délicate l'étude de la question des inondations. Si l'on y joint les précédents posés dans 'chaque pays par des habitudes séculaires, presque transformées en droits; si l'on se laisse aller, et la pente est facile, à l'impression profonde que cause la vue des malheurs d'un pays inondé, on peut être d'autant plus facilement jeté hors de la voie rationnelle que celle-ci, loin d'être

i. Colmatage, limonage, submersion, fertilisation (1867; Nadault de Buffon).

fixe, varie avec les climats et les lieux, et ne se dégage de l'étude qu'avec les plus grandes difficultés.

226. Causes des inondations. Moyens d'agir sur elles — Pour se rendre compte de ce qu'il est possible de faire, il faut d'abord remonter aux causes des inondations et voir les moyens d'action que possède l'homme pour agir sur ce grand phénomène naturel.

Lorsque par suite d'accidents météorologiques une forte précipitation d'eau a lieu sur un pays, les pluies, à mesure qu'elles tombent, se rendent au thalweg par les cours d'eau secondaires; elles y produisent une intumescence qui se développe jusqu'à ce que l'écoulement par l'aval se soit procuré une section suffisante pour débiter les eaux d'amont; c'est alors qu'a lieu le maximum, maximum variable avec la disposition des lieux, lequel est suivi d'une période décroissante pendant laquelle le volume de l'eau écoulée étant plus considérable que celui de l'eau affluente, pour un même temps, l'inondation s'apaise et disparaît.

Toute inondation représente par suite une onde qui parcourt la vallée, se surélevant quand elle rencontre des obstacles ou un affluent qui accroît son volume, s'aplatissant au contraire toutes les fois qu'elle peut s'épanouir dans un espace libre.

Pour agir sur cette onde, trois moyens se présentent naturellement à l'esprit. On peut, soit donner aux eaux l'écoulement le plus prompt!possible vers l'aval, de façon à les faire disparaître à mesure qu'elles arrivent, soit retarder leur arrivée pour que la crue se prolonge en durée et n'ait par suite qu'une intensité moindre; soit enfin livrer au flot qui passe un espace suffisant, mais circonscrit, dans lequel l'écoulement s'effectue suivant ses lois, et en dehors duquel le sort de la vallée, à l'abri derrière des digues, est affranchi de la servitude des inondations.

Le premier procédé est celui des curages; le second est celui des emmagasinements d'eau vers les sources; le troisième celui des endiguements. Nous allons les examiner successivement.

### DES CURAGES

227. Les curages ne sont qu'un déplacement du mal et non pas un remède. - Les curages sont applicables aux cours d'eau secondaires et ne le sont que dans une faible mesure aux rivières de quelque importance. Envisagés dans leur ensemble, ils ne constituent pas un remède au mal, mais un simple déplacement de ce mal, car si la situation des tronçons élargis par le curage se trouve améliorée, celle des parties si-Luces à l'aval s'aggrave d'autant. On conçoit facilement d'ail-Leurs que si tous les cours d'eau secondaires étaient assez propreset assez larges pour transporter à la vallée principale les e a ux pluviales à mesure qu'elles tombent, l'inondation de cette vallée prendrait d'énormes proportions. Chaque curage a donc sa part de responsabilité dans les débordements, et l'effet qu'il produit est, au fond, de jeter plus vite les eaux supérieures sur les parties inférieures du territoire, c'est-à-dire sur les contrées les plus peuplées, les plus fertiles d'habitude, et dans tous les cas celles dont la submersion offre le plus de dangers.

On remarquera que ces parties inférieures du territoire ne peuvent user du même procédé pour se défendre. A mesure qu'on s'approche de la mer la pente diminue, la vitesse d'écoulement devient de plus en plus faible, et le lit, soumis à d'autres lois, ne peut conserver entre deux crues successives les dimensions qu'exigerait l'écoulement immédiat des caux tombées dans la vallée. Il'y a donc nécessairement submersion en se rapprochant de la mer, et submersion d'autant plus forte que les eaux pluviales y seront arrivées plus vite, c'est-à-dire que les curages, dans le pays, auront été plus développés.

Dans la pensée que nous venons d'émettre il ne faudrait pas vo ir l'opinion que les curages sont une opération mauvaise ot à la quelle il y a lieu de s'opposer.

Loin de là! Chaque propriétaire a l'incontestable droit d'é-

couler hors de chez lui les eaux que lui envoie la pente relle du sol; il serait d'autant plus injuste de l'empèchs'en affranchir, que le curage des cours d'eau est une améliorations pour lesquelles la loi a reconnu aux intér le droit de se syndiquer. Nous ne pensons pas d'ailleurs quait plus d'équité à frapper d'une servitude quelconque le rains hauts que les terrains bas, et nous estimons qu'il laisser à l'intérêt privé le soin de pourvoir à ses besoins, les limites légales.

228. Rôle de l'administration. - Mais s'il est rec que les curages entraînent avec eux des inconvénients au de vue des inondations (et il nous semble que le fait n'es contestable), l'administration est tenue à la plus grand serve. Pour rester dans la mesure d'une stricte justice of butive, elle ne doit les favoriser que dans les cas où ils accompagnés d'un emmagasinement d'eau tel que le vo maximum jeté, par seconde, sur l'aval n'en soit pas augm Tant que cette condition ne serait pas remplie, les curagraient considérés comme une opération licite assurément, au moins étrangère à l'intérêt général, et n'ayant par aucun droit à encouragement. Nous verrons tout à l'heu que nous entendons par emmagasinement d'eau, et nous hornerons pour le moment à conclure de ce que nous ve de dire que les curages peuvent être un palliatif du ma quelques points spéciaux où des obstacles surélèvent le d dement; mais qu'ils ne sont pas un remède pour les intions en général, et qu'ils tendraient en se généralisant aggraver plutôt qu'à les amoindrir.

#### § III

#### DES EMMAGASINEMENTS D'EAU VERS LES SOUI

229. Utilité des emmagasinements. — L'effet que vent produire les dispositions qui ont pour but de rel l'écoulement des pluies est tout autre que celui dont

venons de parler, car si l'eau tombée sur les versants met un temps double à se rendre au thalweg, il est évident que la rivière chargée de les conduire à la mer n'aura besoin que d'une section beaucoup moindre; or, la nature elle-même, sur bien des points, s'est chargée d'obtenir ce retard et nous offre ainsi des exemples à suivre.

230. Exemples naturels. Terrains perméables. Lacs.

Le premier et le plus à portée de tous se trouve dans le régime des rivières à bassin perméable, sous les versants desquelles s'opère naturellement l'emmagasinement des eaux pluviales par absorption. Ces rivières grossissent, mais lentement, sortent peu de leur lit et se maintiennent longtemps moyennement hautes, alimentées qu'elles sont d'une façon successive par les sources. Leurs crues s'atténuent d'autant plus qu'elles se prolongent davantage, et les irruptions subites qui causent presque tous les dégâts des inondations demeurent inconnues dans ces vallées privilégiées.

Le second exemple qui s'offre est celui des lacs situés au pied des régions montagneuses; ces lacs livrent aux rivières qui y aboutissent un immense élargissement dans lequel s'emmagasinent les eaux affluentes, comme dans un réservoir destiné à régulariser le débit du cours d'eau qui leur sert d'évacuateur, en prolongeant la durée de l'écoulement de la crue. Un des ingénieurs les plus distingués de l'Italie, M. Lombardini, s'est rendu compte de l'influence exercée sur l'Adda, affluent du Pô, par le lac de Côme. Il a trouvé que le débit maximum de cette rivière, lors de la crue de septembre 1829, avait été à son entrée de 1,940 mètres cubes par seconde et de 804 mètres cubes seulement à sa sortie. C'est donc dans le rapport de 2,40 à 1 qu'a été diminué le flot maximum déversé par l'Adda, en passant de l'amont à l'aval du lac de Côme. C'est là un résultat bien digne de fixer l'attention.

Pend pas de l'homme de changer la nature du sol et de rendre perméables les terrains qui ne le sont pas ; il ne peut pas davantage trouver sur les points où le besoin s'en ferait

sentir d'immenses espaces submersibles, destinés à jouer le rôle des lacs des Alpes; mais il ne lui est pas impossible, avec du temps et des efforts bien combinés, en avançant résolument dans la voie qui est indiquée par la nature, d'arriver à modifier avantageusement la marche que suivent aujourd'hui les inondations.

Entrons plus avant dans le double ordre d'idées que nous venons d'indiquer.

232. Les déboisements augmentent les inondations. Effet des forêts. — Il n'est pas possible, avonsnous dit, de rendre perméables des terrains qui ne le sont pas, et c'est là un fait indiscutable; toutefois les terrains qui présentent un caractère absolu d'imperméabilité sont très rares, et la perméabilité du sol est généralement une question de mesure. Il est donc rationnel, d'abord, de profiter au mieux de cette perméabilité là où elle existe, et en second lieu de l'accroître parteut où son développement est réalisable.

Or, le genre de culture adopté a, sur l'absorption des pluies par le sol, une influence marquée : Nous avons déjà vu que nombre d'ingénieurs attribuaient aux déboisements un effet fâcheux sur la hauteur des crues, et cette opinion a réuni tant de suffrages qu'il est difficile de ne pas la croire juste. Nous n'ignorons pas que des esprits éminents, M. Belgrand notamment ' et M. Vallès ', ont cherché à établir que les forêts agiraient plutôt en sens contraire, mais nous éprouvons quelque peine à nous ranger à leur opinion. Nous pensons comme eux, il est vrai, que le sol des forêts n'est pas plus perméable par lui-même que ne le sont les terrains remués par la culture; mais l'imbibition des terres dépend aussi d'un autre élément que ces auteurs ne font peut-être pas assez entrer en ligne de compte et qui est la durée du contact de la terre avec l'eau. Qui ne sait, en effet, qu'un même terrain qui absorbera presque entièrement une pluie fine et douce, laissera passer la plus grande partie d'une pluie d'orage sans s'en

1. La Seine, page 398.

<sup>2.</sup> Mémoire sur les inondations. (Annales, 1860, janvier et février.)

pénétrer? Dans un cas, il recueillera toute l'eau tombée, dans l'autre cas il n'en prendra pas un cinquième, uniquement parce que le temps lui aura manqué pour que l'imbibition ait lieu. Ce temps, indispensable suivant nous à l'absorption, est un des avantages que fournissent les forêts; la pluie en tombant sur le feuillage, sur les branches mêmes pendant l'hiver, se répartit mieux et en plus de temps sur le sol. Lorsqu'elle y arrive, elle y trouve les rejets, les racines, la mousse, toute cette végétation parasite qui se rencontre dans les bois et qui, s'opposant à l'écoulement élémentaire de chaque petite flaque l'eau, permet au sol de s'imprégner bien plus profondément 1. Que l'on examine au contraire une côte labourée ou travaillée en sillons comme on en rencontre tant. Sous la pluie, chaque sillon devient un ruisseau et aux points les plus bas on voit passer un véritable torrent jaune et boueux que ne montrent presque jamais les fossés issus des bois.

3. Effet des gazonnements. — Un effet analogue est obte nu par les gazonnements. M. l'ingénieur en chef Breton rapporte une expérience remarquable de M. Gaymard, ingénieur en chef des mines. Un mètre carré de pelouse des l'en chef des mines. Un mètre carré de pelouse des l'en chef des mines. Un mètre carré de pelouse des l'en chef des mines. Un mètre carré de pelouse des l'en carré de pelouse des les carrés de la corre sont genéralement produites par une chute d'eau de 130 à 150 mil-

<sup>1-</sup> Dans une note qu'il a présentée à l'Académie des sciences le 28 août 876. M. Fautrat établit que le terrain formé par le détritus des pins retient 90 de son poids d'eau, tandis que le sable dans lequel pousse cet arbre 2 en retient que 0,25. (Annates de novembre 1876, Chronique, page 516.)

M. Torelli, sénateur italien, à l'appui d'un projet de loi sur les inondations (1873), envisageant l'état de l'Apennin, estimait qu'une montagne boisée peut retenir les 4/5 de l'eau tombée, tandis que les mêmes nommets dénudés en retiendraient seulement 1/5. Suivant lui, les inondations du lac de Côme ont augmenté en nombre et en intensité à mesure que le bassin de l'Adda a été dépouillé de ses forêts, et les déboisements, en détruisant les réserves, accroissent les crues et diminuent le volume d'étiage, ce qui est doublement regrettable.

2. Etude d'un système général de défense contre les torrents, page 35.

limètres de hauteur en trois jours : il suffit de comparer les chiffres pour comprendre l'effet que l'on peut obtenir de ce genre de culture, effet d'autant plus grand que le sous-sol en contact avec cette éponge végétale est plus susceptible, par sa nature, d'augmenter l'absorption.

234. Effet des drainages. — Enfin, il résulte des expériences de M. l'inspecteur général Maitrot de Varennes que la quantité d'eau que peut emmagasiner un terrain rendu perméable par le drainage peut aller également à 50 millimètres de hauteur d'eau, avant que les drains commencent à donner, d'où résulte évidemment une capacité d'absorption encore plus considérable, puisque les drains commencent à donner avant la saturation du terrain.

235. Le remède est lent, mais sur. - Il demeure donc établi que nous pouvons modifier les facultés absorbantes du sol par la culture, et que le drainage, les près et les bois produisent de véritables emmagasinements d'eau, à l'aide desquels il n'est pas impossible de réagir contre l'arrivée trop rapide des pluies dans les cours d'eau principaux. Sans doute, ce n'est pas là un de ces remèdes rapides qui, d'une année à l'autre, modifient la situation; sans doute, pour réaliser un progrès sensible, il faudra bien du temps et de la persévérance, mais la voie semble sûre, et dans des questions de ce genre c'est déjà beaucoup que de savoir où il importe d'aller. Si l'on veut bien considérer en outre que le reboisement, le gazonnement et le drainage lui-même, sont des opérations agricoles qui peuvent s'effectuer sur de très vastes étendues, si l'on songe que les deux premières sont incontestablement le meilleur moyen d'arrêter le ravinement des coteaux, on reconnaîtra qu'il faut marcher résolument dans le sens des encouragements à accorder pour ces transformations du sol. Nous n'ignorons pas que l'administration fait déjà beaucoup dans cet ordre d'idées; elle doit aller plus loin encore puisque l'intérêt général l'y convie.

236. Réservoirs artificiels. Leur prix élevé. — A côté de cet emmagasinement naturel et lent, qu'il n'était pas inutile d'envisager au point de vue de l'avenir, se place la création de réservoirs artificiels. Ceux-ci paraissent susceptibles de produire sur les crues l'effet désiré. Ils retardent l'écoulement des eaux de pluie descendues des versants, et diminuent l'intensité du flot en augmentant sa durée.

Si, dans chaque vallée, il était possible de recueillir toute l'eau d'une crue dans un ou plusieurs vastes réservoirs, pour ne l'écouler qu'avec la discrétion commandée par l'état de la vallée dans sa partie inférieure, aucun débordement ne pourraitêtre redoutable. C'est là toutefois une pure hypothèse, qui n'a pu se réaliser que sur une très petite échelle, en quelques points privilégiés et au prix des plus grands sacrifices. Quand on cherche à généraliser ce mode d'action sur les inondations, on se heurte à des difficultés immenses.

C'est, avant tout, le prix de ces retenues artificielles qui s'oppose à leur création générale. En se reportant à ce qu'ont coûté les réservoirs établis pour l'alimentation des canaux, on reconnaît qu'il est difficile d'arriver à moins de 0 fr. 15 par mètre cube emmagasiné. Certains réservoirs heureusement placés donnent un prix inférieur, mais il faut remarquer que ce sont précisément ces dispositions favorables qui ont déterminé le choix de leur emplacement et en ont fait une exception. Or, si l'on considère la Loire seule, qui roule au moment de ses grandes crues environ 10.000 mètres cubes par seconde, et si l'on se propose d'emmagasiner simplement le quart de ce débit pendant les deux jours qui précèdent et suivent le maximum, on arrive à des réservoirs d'une capacité de 4 à 500 millions de mètres cubes valant à peu près 80 millions de francs. Encore faut-il admettre qu'on profiterait de leur capacité entière précisément au moment opportun, ce qu'il est pratiquement impossible de réaliser à beaucoup près. A quelles sommes n'arriverait-on pas pour tous les cours d'eau de France? Cette considération seule suffit à faire voir qu'on ne peut songer à transformer brusquement la manière d'être des inondations, par la construction de grands réservoirs.



#### CHAPITRE X. DES INONDATIONS

226

237. Objections techniques aux réservoirs. Beaucoup d'autres objections, d'ailleurs, ont été formulées contre ces retenues artificielles. Leur jeu, dit-on, peut devenir un danger si ce jeu a pour effet de retarder la crue d'un affluent et de la jeter sur celle du cours d'eau principal, alors que dans l'ordre naturel des choses la première se serait écoulée avant l'arrivée de la seconde. Elles seraient d'un entretien onéreux à cause des dépôts qui s'accumuleraient dans les bassins. Au cas de rupture de la digue, elles causeraient des désastres supérieurs à ceux des crues extraordinaires. Les manœuvres hydrauliques seraient aussi difficiles à commander qu'à réaliser pratiquement. L'effet des réservoirs, d'ailleurs, va en s'affaiblissant à mesure que le cours d'eau s'éloigne d'eux, en sorte qu'il ne faut pas s'abuser sur le bénéfice qu'ils procurent.

238. Réponse à ces objections. — Ces objections ne sont pas sans réponse possible. Il est certain qu'on peut abuser des meilleures choses et si les retenues s'effectuent sans discernement, il peut en résulter des inconvénients: ce n'est pas une raison toutefois pour renoncer complètement à un système qui, s'il était généralisé, ne pourrait avoir que de bons effets, puisqu'il retarderait partout un écoulement trop rapide des eaux. Les frais d'entretien sont à prévoir et à faire entrer en ligne de compte, aussi bien que les dangers et les difficultés d'organisation, mais ce ne sont pas des objections absolues et il est beaucoup de cas particuliers où elles peuvent perdre leur valeur. Enfin en ce qui concerne le bénéfice que procurent les réservoirs aux cours d'eau qu'ils commandent, sans s'arrêter à le chiffrer, chose bien difficile dans l'état actuel de la question, il n'est pas contestable qu'il existe; et cette raison suffit pour qu'on soit porté à accueillir les efforts faits dans cet ordre d'idées.

En d'autres termes si l'on a voulu prouver qu'il était impossible aujourd'hui, en France, de modifier immédiatement le régime des inondations par la construction de réservoirs, le fait semble établi; mais il ne s'ensuit pas qu'on doive renoncer à un développement progressif de ce

système en s'accordant le temps, et en faisant avec discernement un pas en avant dans cette voie, toutes les fois que l'occasion s'en présente.

239. Les inondations ne sont pas le seul intérét en jeu. C'est que les inondations sont loin d'être le seul intérêt en Jeu. Pour en fournir un des exemples les plus frappants, hous citerons le réservoir du Gouffre-d'Enfer (Loire), qui non Seu le ment protège la ville de Saint-Étienne contre les inondations, mais encore, l'été, complète la distribution d'eau de cet Le grande cité, et atténue le chômage des usines situées sur le Furens. Cette magnifique création, tout en desservant des intérêts locaux de premier ordre, a une part d'influence, Clémentaire il est vrai, sur le débit de la Loire; il n'est contestable que si l'exemple se généralisait, l'effet en de le ndrait bientôt sensible. Si donc il se trouve, dans quelques val 1 6 es, des groupes d'intérêts agricoles ou industriels appel'établissement de réservoirs, il est dans le rôle de l'administration de favoriser et d'aider dans la limite du possible ce gonre de travaux.

e à un autre point de vue. Nous avons vu, en effet, en part du régime des rivières, que leur débit à l'étiage allait minuant d'une manière constante et dans une proportion e. Or c'est là un fait d'une très grande gravité et il ne du printemps pour le moment des sécheresses. Sous nos du printemps pour le moment des sécheresses. Sous nos du printemps pour le moment des sécheresses. Sous nos limats tempérés, ces sécheresses sont généralement d'assez durée pour que la réserve n'ait pas à répondre à des besoins trop prolongés; et il y a là un motif de plus pour que la sollicitude gouvernementale s'attache à tous les projets de réservoir qu'un besoin quelconque peut mettre en avant, et dont la création est sans danger pour l'intérêt général.

240. Pertuis imités de la digue de Pinay.—En second lieu, si ces grands réservoirs sont trop coûteux pour qu'on en altaque l'exécution comme plan d'ensemble contre les débordements, il est d'autres travaux moins dispendieux dont une

expérience aujourd'hui séculaire a démontré l'efficacité. Nous voulons parler des barrages à pertuis ouvert dont le type est la digue de Pinay (Loire) restaurée et exhaussée de nos jours, mais exécutée depuis 1711. Profitant d'un rétrécissement très marqué de la gorge dans laquelle coule la Loire près de Pinay, l'ingénieur Mathieu proposa, au commencement du siècle dernier, d'exagérer ce rétrécissement au moven de digues solidement assises sur le rocher, de facon qu'au moment des inondations les eaux d'amont, gênées dans leur écoulement, puissent s'emmagasiner entre Pinay, Nervieux, Balbigny et Feurs, pour y former un lac temporair recevant l'excès des eaux pendant la période ascendante de ! crue, et les restituant à leur cours naturel pendant la périocal descendante. C'était ici encore un retard imposé aux eaux c pluie, dans leur trajet entre la source et la mer, et l'eff produit ne pouvait être douteux.

241. Effet produit par la digue de Pinay. — Cet effetoutefois, a été chiffré de manières très différentes par la ingénieurs qui se sont occupés de la question. M. Boulang a estimé que la retenue produite par la digue de Pinay por vait être évaluée en totalité à 131 millions de mètres cube pendant la crue de 1846, et que son influence au moment de maximum avait pu se traduire par une diminution de débit a 3.646 mètres cubes par seconde, procurant ainsi au pont ce Roanne situé à 50 kilomètres au-dessous une diminution d'un tiers environ dans le volume des eaux qui auraient passé sous ses voûtes.

M. l'inspecteur général Dupuit a pensé, au contraire (écrit publié en 1858) que l'effet produit par le rétrécissement des gorges de Pinay était loin d'être aussi considérable; suivant lui, on ne pouvait l'estimer qu'à 25 millions de mètres cubes en tout, et la réduction artificielle due à la digue proprement dite était d'ailleurs presque insensible.

M. l'inspecteur général Graeff, dans son remarquable mémoire à l'Institut (action de la digue de Pinay sur les crues de la Loire) a fourni une solution nette et précise de la ques-

<sup>1.</sup> Annales de 1848 (2º semestre).

tion. Il a montré comment, au moment du maximum au pertuis d'issue, il devait y avoir égalité complète entre les eaux qui entrent dans le réservoir et celles qui en sortent. Du moment dès lors où une courbe des débits, dressée pour tous les affluents du déversoir, lui fournissait, heure par heure, le débit total de la crue en amont de ce réservoir, il lui suffisait de constater l'heure de l'étale en aval, pour retrouver sur sa courbe au même moment le volume d'entrée égal au volume écoulé par le pertuis. On conçoit que ce dernier, par sa vitesse d'écoulement aussi bien que par les circonstances locales, échappait à tout calcul direct, et surtout à l'application des formules.

Cette méthode, appliquée aux éléments de la crue de 1866,

a fourni les résultats suivants :

Les affluents réunis ont donné pour maximum de la crue, en amont du réservoir, le 25 septembre à 9 heures du matin, 3.390 m. c., tandis qu'au pertuis le maximum n'a eu lieu que le même jour à 4 heures du soir sous un volume de 2.520 m. c. La diminution du flot maximum a donc été réalisée dans le rapport de 1.35 à 1, et si cette proportion n'approche pas de qu'offre le lac de Côme vis-à-vis des crues de l'Adda (2 d), on voit qu'elle est cependant bien loin d'être négligeable.

Quant au volume total emmagasiné, M. l'inspecteur général Graess montre comment il est fourni par l'aire totale de la courbe des débits, et a dû s'élever par suite en 1866 à millions de mètres cubes, dont 20 millions au moins sont dus au resserrement artificiel créé par les digues proprement dites et 93 millions au rétrécissement naturel de la gorge que

traverse la Loire.

se reportant, autant que faire se peut, aux observations de 1846, le savant auteur du mémoire qui nous occupe justifie le chiffre d'emmagasinement avancé par M. Boulangé dans mémoire (131 millions de mètres cubes), tout en faisant remarquer qu'ici encore cette épargne est due pour sa plus grande partie à la disposition naturelle des lieux, et pour la plus petite seulement, aux travaux de main d'homme qui ont resserré la gorge de Pinay.

Quoi qu'il en soit, et pour s'en tenir à ce qui s'est passé en 1866, la digue de Pinay, que M. l'ingénieur en chef Boulangé estimait 170.000 francs, aurait donné naissance à une retenue de 20 millions de mètres cubes par sa seule action; elle aurait retardé de deux heures au moins l'arrivée du maximum à Roanne et diminué de 0<sup>m</sup>,60 environ la hauteur de la crue dans cette localité. Ce sont là des résultats aussi considérables qu'économiques, et ils sont de nature à établir que partout où des créations de ce genre pourront se réaliser, on commettrait une véritable faute en ne mettant pas le pays à même d'en profiter.

Descendons encore d'un degré dans l'échelle des travaux d'emmagasinement d'eau, et passons des grands réservoirs

aux étangs.

242. Des étangs. Ils favorisaient l'irrigation. — Si l'on jette un coup d'œil sur la carte de Cassini qui date de la fin du siècle dernier, et si on la compare à celle de l'étatmajor, on est frappé de l'immense quantité d'étangs qui ont disparu : c'était cependant une réserve d'eau importante que celle qu'ils renfermaient; chaque petit cours d'eau recevait de la succession d'étangs qu'il amenait à déborder, une action régulatrice qui tendait à diminuer le maximum de sa crue pour en prolonger la durée; c'était là, au point de vue des inondations, un bénéfice d'autant plus certain qu'il s'appliquait à tout le territoire et exerçait son action sur les points où les pluies sont les plus abondantes et le sol le plus imperméable.

243. Le desséchement des étangs n'est qu'un bénéfice particulier.— Ajoutons que ces étangs favorisaient l'irrigation de leurs vallons et rendaient ainsi au point de vue agricole de véritables services. Chaque crue, sortant librement par le déversoir, pouvait porter sur les coteaux inférieurs les eaux fécondantes des pluies; et s'il se présentait de loin en loin quelque débordement intempestif nuisant à la récolte pendante, sur les points voisins du thalweg, l'ensemble de la production ne pouvait qu'y gagner. On a rendu à la culture, il est vrai. par le dessèchement des étangs, l'espace que noyaient leurs eaux; mais ce bénéfice, spécial au propriétaire de l'étang et résult at nécessaire du morcellement des propriétés, compenset-il le perte générale d'une réserve précieuse à plus d'un titre ? Il est permis d'en douter.

Insalubrité des étangs. — On a dit, il est vrai, que les E angs étaient une cause d'insalubrité. Mais cette question a 616 traitée par M. l'Ingénieur en chef de Saint-Venant', qui amontré comment, si certains étangs à bords très plats, ou imprudemment exploités, pouvaient à juste raison être considérés comme insalubres, beaucoup d'autres ne méritaient pas ce reproche; il a indiqué en outre par quels moyens le plus grand nombre d'entre eux pouvaient être assainis à l'aide de quel ques soins. Nous ne pouvons d'ailleurs mieux faire, dans l'ordre d'idées que nous suivons, que de placer notre opinion SOUS l'autorité de son nom en citant textuellement la conclusion du mémoire dont nous parlons et qui porte la date du 4 septembre 1848. On y verra que son opinion, corroborée de Puis par celle de M. l'Ingénieur en chef Vallès, est toute favorable aux étangs et leur attribue une puissante action sur le bon aménagement des eaux du territoire.

Nous voyons que l'insalubrité n'est point inhérente aux a cangs. Elle tient à la forme ordinaire de leurs bords. Il

\* Existe plusieurs moyens de les rendre tous innocents par

" Quelques travaux médiocrement coûteux, dont la dépense

\* est compensée en totalité ou en partie par un gain de tervain; et ces travaux, pour un grand nombre, ne sont même

" point nécessaires, car beaucoup ne sont point insalubres.

« On peut donc, sans crainte, conserver et multiplier les « étangs; et il importe que l'autorité se borne à un droit de

« police au lieu de se laisser entraîner, comme elle l'a fait à

diverses époques, par des demandes faites au nom de la

« santé publique, soit à supprimer les étangs ou à les grever « d'impôts disproportionnés dans la vue de déterminer leur

1. Annales de 1849 (1er semestre). Mémoire sur l'assainissement des

« suppression, soit à entourer leur établissement de formalités « gênantes qui empêchent d'en construire. Il n'importe pas « moins que les sociétés savantes cessent d'encourager à les « détruire. Ce serait dans le plus grand nombre de localités « rendre l'irrigation impossible, perdre les eaux et les limons, « et se priver d'un moyen efficace d'arrêter les dégradations « et les inondations, et de régulariser le cours des eaux. Ce « serait par conséquent tarir une des sources les plus précieuses « de la fortune publique, et aller à l'encontre du but social « vers lequel il est de toute nécessité de tendre désormais. »

245. Résumé de la discussion en ce qui concerne l'emmagasinement des eaux. — De la discussion à laquelle nous venons de nous livrer il résulte que, s'il ne nous est pas donné d'arrêter par de grands travaux publics les débordements de nos rivières, nous pouvons cependant agir sur ce phénomène naturel par voie d'emmagasinement des eaux vers les sources.

D'abord par la création de bois et de prairies sur les sommets, en tous les points où le terrain est favorable à ce genre de culture.

En second lieu par la construction de réservoirs, sur les points où un intérêt industriel ou agricole les rend possibles.

Ensuite, par l'établissement de digues analogues à la diguede Pinay, partout où la disposition des lieux s'y prête.

Enfin par le rétablissement d'étangs dans la partie supérieure de nos vallées secondaires autant que le permettront les moyens d'action dont dispose l'administration, et sous la condition que ce rétablissement ne puisse pas être contraire à l'hygiène.

Assurément, l'ensemble des mesures dont nous venons de parler, quelque persévérance que l'on mette à en poursuivre l'accomplissement, n'est pas de nature à transformer rapidement nos cours d'eau et à rendre paisibles ceux qui sont torrentiels; assurément, on ne fera pas face aux malheurs comme ceux de 1875 dans la vallée de la Garonne; mais il est permis d'espérer qu'avec une certaine durée d'efforts judicieux, le maximum des grandes inondations devra s'atténuer,

et ce serait déjà avoir gain de cause sur le point capital. Il s'est établi, en effet, dans la plupart de nos vallées, un état l'équilibre entre le bon et le mauvais, équilibre qui s'applique tur débordements ordinaires, mais qui se rompt, au profit du mal, dans les cas exceptionnels. Si donc il était possible de madre très rares ces exceptions, et d'enlever aux crues extraordinaires les quelques décimètres qui les séparent des inondations habituelles, il est à penser que, dans l'état actuel des cultures, on aurait obtenu tout ce qu'il est avantageux d'obtenir. Aller plus loin, vouloir faire pencher la balance dans l'autre sens, et tendre à supprimer la submersion des val-ICes, ce serait peut-être (si l'on y arrivait) troubler profondément une des origines de la richesse agricole, ce serait, en tous cas, s'exposer à des accidents nombreux, plus dangereux que le mal à éviter. C'est ce qui ressortira plus clairement de suite de cette étude, lorsque nous aurons parlé des endiguements.

#### \$ IV

# DES ENDIGUEMENTS

Conservateur qui parcourt une vallée submergée et y considère le mode d'écoulement des grandes eaux est frappé de la diversité des vitesses qu'il y rencontre. Au droit du lit proprement dit et sous les ponts qui traversent la rivière, c'est un courant d'une grande violence qui s'atténue à droite et à ganche à mesure qu'on s'éloigne de la rive, et fait place, suivant la disposition des lieux, tantôt à une nappe dormante, lantôt même à des remous. Parfois aussi du sein de cette nappe, vis-à-vis quelque issue isolée; une rivière auxiliaire se dessine; mais en somme, le plus souvent, sur la plus grande partie du profil en travers de la vallée, les eaux dorment, et il est évident que l'écoulement général est loin d'utiliser toute la section mouillée.

- 247. Idée première de l'endiguement. De là l'idée de laisser à la crue l'espace qui lui est nécessaire et d'affranchir le reste du sol d'une servitude génante. Cette marche est d'autant plus naturelle que les nombreux inconvénients de l'inondation frappent à première vue ceux qui la subissent et effacent à leurs yeux prévenus non seulement les avantages qui s'y rattachent pour eux-mêmes, mais encore des considérations d'intérêt général qui devraient toujours prévaloir dans un système d'endiguements.
- 248. Exemple du Po. Il serait difficile d'ailleurs, dans cette œuvre complexe, laborieuse, persévérante, qu'on appelle l'endiguement d'une rivière, de bâtir une théorie certaine et de la faire accepter. Pour cette lutte indéfinie contre une force toujours redoutable, parce qu'elle menace partout à la fois et croît avec la résistance qu'on lui oppose, on ne peut pas plus prévoir toutes les mesures à prendre que les faire respecter par l'intérêt local. Il y a là un problème sérieux qui n'est pas encore résolu. Le meilleur moyen d'en faire apprécier la difficulté, c'est d'exposer sommairement ce que sont les endiguements dans la vallée du Pô, où la disposition des lieux les commandait, où des usages qui datent de toute antiquité ont permis d'assurer autant que faire se pouvait, après vingt siècles d'efforts, la protection du territoire vaste et riche qui commence aux villes de Plaisance et de Crémone et s'étend jusqu'à l'Adriatique.
- 249. Dimensions du bassin du Pô. Pente et rellef du sol. Le bassin du Pô a environ 460 kilomètres de l'ouest à l'est; sa largeur entre la crête des Alpes et celle des Apennins est à peu près 200 kilomètres à Alexandrie et 250 au milieu de sa longueur vers Plaisance et Crémone. En arrivant à l'Adriatique, il se confond avec les bassins de la Brenta, de l'Adige, du Lemono, du Ranco, du Savio, etc., qui sont compris entre les mêmes chaînes de montagnes, pour former un vaste estuaire qui a près de 300 kilomètres du nord au sud et que terminent vers la mer les lagunes de Comacchio et de Venise. (Voir l'une des figures de l'article 48.)

Ce large bassin est circonscrit par une région montagneuse d'une largeur d'environ 100 à 120 kilomètres du côté des Alpes et 50 à 60 du côté des Apennins. Sa partie centrale comprend deux étages de plaines bien distincts, l'un de plaines hautes rattachant le pied des montagnes au thalweg, l'autre constituant le thalweg même, c'est-à-dire la plaine basse dans laquelle serpente le Pô.

Ce tte plaine basse, submersible, très étroite à Turin, prend 5 kilomètres vers Cazale et Valence, 10 de Pavie à Plaisance, 14 vers Crémone, 25 à Casalmaggiore (vis-à-vis Parme), 35 en tre Modène et Mantoue et 60 un peu au-dessus de Ferrare. En ce qui concerne sa partie endiguée, elle conserve jusqu'à la mer cette largeur, qui est égale à la distance séparant l'embouchure la plus méridionale du Pô de celle de l'Adige.

pente, dans l'état ordinaire des eaux, est de 0<sup>m</sup>,50 à 0<sup>m</sup>,30 par l'ilomètre entre la Dora et le Tessin, de 0<sup>m</sup>,80 à 0<sup>m</sup>,25 entre le Tessin et l'Adda, de 0<sup>m</sup>,25 à 0<sup>m</sup>,45 entre l'Adda et l'Oglio, de 0<sup>m</sup>,41 vers l'embouchure du Panaro et de 0<sup>m</sup>,41 à 0<sup>m</sup>,06 audess ous du Panaro.

De Turin au confluent du Tessin et même un peu au delà, on ne trouve que des digues isolées se rattachant aux co-teaux; c'est vers Crémone que commence l'endiguement véritable, qui se continue sans interruption jusqu'à la mer, sur une longueur d'environ 170 kilomètres à vol d'oiseau. Toutefois, à partir du confluent du Panaro, vers Ferrare, le Pô, qui ne recoit plus d'affluents, se divise en plusieurs bras tous endigués, il est vrai, mais communiquant entre eux ainsi qu'avec l'Adige et le Reno. Il en résulte que, près de l'embouchure, le voisinage de la mer a ôté aux endiguements le caractère spécial qu'ils ont de Crémone à Ferrare, caractère qu'il convient surtout d'étudier au point de vue de l'exemple à suivre.

250. Profil des digues maîtresses. — Sur ce parcours donc, où le fleuve a son unité, et où la plaine submersible a de 14 à 50 kilomètres de largeur, on a resserré ses eaux entre deux puissantes digues appelées digues maîtresses, qui circons-

<sup>1.</sup> Rivières de Lombardie; Annales de 1847, 1er semestre (Mémoire de M. Baumgarten). Voir aux Annexes.

MONT COMPANY A FERRANE AND CONTROL OF THE PROPERTY OF THE PROP

Échelle de 0m,0012 pour un kllomètre.

crivent son lit majeur. Ces digues ont de 6 à 8<sup>m</sup> de largeur en couronne et présentent des talus de 2 à 3 de base pour 1 de hauteur; du côté des terres, le talus est coupé par une ou deux banquettes horizontales de 6<sup>m</sup> de largeur. Sur leurs talus mouillés, les digues sont défendues par des clayonnages et une végétation en buisson soigneusement entretenue, tandis que



l'autre talus est gazonné, et la partie supérieure garnie de gravier pour servir de chemin. Généralement on les a placées loin du lit mineur et ce n'est qu'accidentellement qu'elles le bordent. En ces points exceptionnels, où l'ouvrage peut être atteint par la corrosion de la rive, les défenses s'accumulent sous forme d'épis ou de revêtements fascinés, tandis qu'une nouvelle digue est construite en arrière pour le cas d'accident. En un mot, ces maîtresses digues sont des ouvrages considérables, dont l'évaluation italienne nous manque, mais dont il serait possible de reconstituer le prix pour chaque pays où l'on serait amené à en projeter de semblables avec les terres à portée. Ajoutons que leur hauteur varie de 3 à 5<sup>m</sup> au-dessus des bords, ce qui représente une élévation de 6 à 9<sup>m</sup> au-dessus de l'étiage.

251. Longueur des digues et perimètre defendu. — Ainsi établies, ces digues non seulement suivent le fleuve, mais encore se retournent le long de chaque affluent sur chaque rive jusqu'au point où les débordements de ces affluents sont à craindre, de telle sorte que la vaste plaine submersible qui nous occupe est sillonnée par un immense réseau de digues enserrant chaque cours d'eau et leur traçant à tous, sans exception, un lit majeur dans lequel se concentre l'écoulement des crues de la vallée'. Du Tessin au Panaro, 514 kilomètres de digue défendent 325.000 hectares de terrain. Cet écoule-

<sup>1.</sup> M. Comoy. Mémoires sur les ouvrages de défense contre les inonda-

ment artificiel toutefois a ses exigences; il fallait lui faire partout sa part en tenant compte des besoins variables de chaque partie du fleuve, et c'est là qu'a brillé cette habileté proverbiale des ingénieurs italiens en matière d'hydraulique, habileté qu'ont tant développée l'expérience et la tradition.

Les maîtresses digues ont été espacées de telle sorte qu'aux droit de la partie où abondent les affluents, le lit majeur a pur former une sorte de réservoir dans lequel s'emmagasinents non seulement les crues, mais encore, pour disparaître avec le temps, les dépôts apportés par les affluents troubles. La largeur de ce lit majeur, nécessairement variable pour se pliem à tous les accidents de terrain, a été en movenne :

Au confluent du Tessin où il n'y a pas de digues .	7	k. 11
Vers Plaisance		
Vers Crémone (confluent de l'Adda)	4	50
A Casal maggiore (vis-à-vis Parme)	3	25
Vers le confluent de l'Oglio		
De l'Oglio au Panaro (au-dessus de Ferrare)	. 1	25
Au-dessous du Panaro	0	50

Il suit de cette disposition que le lit majeur du Pô et de ses affluents, dans leur partie basse, sert de régulateur à chaque crue qui descend des montagnes; et, après l'avoir équilibrée, la conduit à la mer par une issue rétrécie qui en tempère la vitesse et les effets destructeurs.

252. Effets de l'endiguement sur les crues. — Il faut que cet équilibre ait été bien heureusement établi, puisque M. Lombardini a pu constater ces deux faits remarquables, rapportés d'après cet auteur par M. Baumgarten: Le premier, c'est que le débit d'une crue est à peu près le même au Tessin, à Crémone et vers Ferrare, malgré la masse d'eau des affluents intermédiaires. Le second, c'est que, tous ses affluents réunis roulant jusqu'à 15.000 mètres cubes par seconde, le débit du Pô pendant la même unité de temps reste à peu près à 5.000 mètres cubes.

Assurément, dans ce remarquable résultat, la plus grande part doit être attribuée aux circonstances naturelles; il est certain que les affluents des Apennins s'écoulent avant ceux des Alpes, il n'est pas douteux que les lacs Majeur, de Côme, de Garde et autres transforment et retardent les torrents les plus puissants; mais il faut reconnaître également que dans la tendance inverse que provoquent les endiguements, on a su ne pas méconnaître les lois naturelles et en tirer habilement parti. Ainsi, toujours d'après le même savant ingénieur, le volume emmagasiné entre les digues du Pô et de ses affluents, de Casale à la mer, est de 1.896 millions de mètres cubes, ce qui correspond à quatre jours de débit du fleuve à raison de 5.150 mètres cubes par seconde, et c'est là encore une réserve mom de laquelle l'homme peut revendiquer une légitime part d'influence dans le régime factice imposé au fleuve.

3. L'endiguement doit être accompagné de trad'irrigation et de desséchement. — Tel est à grands traits l'endiguement du Pô; toutefois, limitée à ce que nous venons d'exposer, l'opération serait incomplète. Isolées des cours d'eau qui les bordent, les vastes mailles du filet que trace les digues perdraient le bénéfice de l'irrigation et du dessechement, si un nouveau travail ne le leur restituait. On conceit en effet que les eaux de source, les eaux pluviales, les caux d'infiltration après chaque crue, doivent pouvoir s'écouler 5011 s peine de transformer en marécages les terrains protégés; d'a la tre part, si l'on se reporte à ce que nous avons dit de l'in Duence fécondante des eaux courantes, on concevra facileme nt que, surtout sous le soleil de l'Italie, il ait été impossible dy renoncer dans la plaine du Pô. De là une nouvelle œuvre, moins ardue que la première, mais aussi nécessaire en matière d'endiguement : le dessèchement et l'irrigation du périmètre

Il n'entre pas dans notre cadre de fournir des développements à ce sujet; mais nous aurions été incomplet si nous n'avions pas appelé l'attention sur cette conséquence forcée des endiguements. Difficile et coûteuse en elle-même, cette opération entraîne encore la création de canaux colateurs traversant les digues aux points les plus bas, et armés à leur extrémité d'aval d'engins spéciaux, destinés à livrer passage aux eaux du périmètre protégé dès qu'elles peuvent sortir, et à fermer l'accès de ce même périmètre aux eaux d'inondation. Enfin il a fallu en outre, pour restituer au sol ses conditions agricoles originelles, des canaux d'irrigation qui ramènent, par de nouvelles voies, les eaux des affluents dérivés à la limite du champ d'inondation. C'est alors seulement que l'œuvre a pu être considérée comme complète.

254. Le rétrécissement du champ d'inondation a fait exhausser les digues. — Aussi, pour arriver à ce résultat, que d'études, que de travaux! Ajoutons que de mécomptes! A mesure que les digues se sont développées et ont rétréci le champ d'inondation, les eaux se sont élevées et on a dû exhausser les digues pour les suivre. Dans cette lutte, il est arrivé souvent que le fleuve a reconquis son domaine; alors on a consolidé les points faibles et l'on en est redevenu maître, mais chaque progrès fait sous ce rapport a été le signal d'une surélévation nouvelle. Depuis le xvn° siècle à l'échelle de Ponte-Lagoscuro, près Ferrare, les hauteurs maxima ont été les suivantes:

Le 8 novembre 1705	6	,82
Le 4 novembre 1719	6	84
Le 9 novembre 1729.	. 7	13
Le 23 octobre 1755	7	44
Le 22 septembre 1772	7	63
Le 18 juin 1777	7	77
Le 14 juillet 1799	7	81
Le 13 novembre 1801	1	69
Le 12 décembre 1807	7	94
Le 10 mai 1810	8	15
Le 15 octobre 1812	8	17
Le 13 mai 1827,	8	16
Le 20 octobre 1839	8	31
Le 6 novembre 1840	8	25
Le 31 octobre 1841	8	09
Le 20 octobre 1846	8	18
Le 1er novembre 1855	8	49
Le 1° octobre 1857	8	58

<sup>1.</sup> Annales des Ponts et Chaussées, jain 1875.

255. Nembre de rupture de digues. — Nous trouvons, dans une note présentée à l'Académie des sciences par M. l'ingénieur en chef Dausse, que le niveau des plus hautes eaux a augmenté de plus de 2<sup>m</sup>,00 depuis deux siècles. Enfin, en ce qui regarde les ruptures de digues, d'après le même auteur, leur nombre qui, dans tout le xvmº siècle, n'avait été que de 41, est devenu de 119 entre 1800 et 1872, tandis que l'année 1872 à elle seule en a donné 36.

256. Opinion de M. Belgrand sur l'endiguement du Pô. – On le voit donc, le tableau présente des ombres et c'est sans étonnement qu'on trouve dans les ouvrages de M. l'inspecteur général Belgrand cette réflexion répétée à deux reprises: « J'ai voulu faire voir que, même dans un pays où l'endiguement existe depuis vingt siècles, où la propriété en a subi toutes les conséquences, la vallée du Pô, il n'est pas bien démontré que les avantages soient plus grands que les inconvénients'. »

Sans vouloir trancher une question qui laisse dans le doute un esprit aussi éminent, il nous sera permis de dire qu'il suffit qu'il y ait incertitude au point de vue utilitaire, pour qu'on doive se féciliter des efforts et du succès.

Dans cette lutte persévérante du génie de l'homme contre la nature, 325.000 hectares de terre ont été soustraits au danger de devenir des marécages. L'enjeu était l'assainissement d'une terre sur laquelle se sont développées nombre de villes célèbres, et l'œuvre grandiose qui a été accomplie par l'endiguement du Pô est une page historique de plus à l'honneur de l'Italie, cette terre classique des grands souvenirs.

Annales des Ponts et Chaussées, 1852 : « La Seine, endiguement » ; page 438.

### 8 V

#### ENDIGUEMENT DE LA LOIRE

Après avoir ainsi fixé nos idées sur les conditions que présente un endiguement complet, consacré par le temps et le succès autant qu'il est possible de l'obtenir, nous allons examiner ce qui a été fait en France, sur la Loire.

257. Disposition du sol dans le bassin de la Loire. — Le bassin de la Loire a une longueur de 650 kilomètres à peu près; sa largeur est de 140 kilomètres environ à la hauteur de Roanne, de 250 entre Nevers et Ancenis, pour se réduire à 50 kilomètres vers l'embouchure. La superficie totale est de 120,000 kilomètres carrés.

Entre le confluent de l'Allier et la mer, sur une longueur de 487 kilomètres, la vallée du cours d'eau principal est formée par une plaine submersible s'étendant de l'un à l'autre coteau et dont la largeur moyenne est un peu supérieure à 2 kilomètres. Deux élargissements notables s'y font cependant remarquer, l'un à Orléans, large d'environ 5 kilomètres sur 60 kilomètres de longueur, l'autre vers Saumur de 5 k. 50 sur 75.

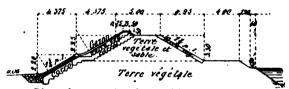
La pente est très rapide; elle est par kilomètre de 0°,45 vers le Bec-d'Allier, de 0°,40 vers Orléans et Briare, de 0°,35 vers Tours et 0°,20 vers Saumur, pour se réduire à 0°,15 entre Chalonnes et Nantes.

258. Espacement des digues. -L'endiguement n'a été généralement exécuté que d'un seul côté, et le fleuve est presque partout compris entre une digue et un coteau. Sur quelques points, lorsqu'il traverse la plaine pour passer d'un coteau à l'autre, l'endiguement est double; mais cette disposition des lieux est exceptionnelle. Dans ces conditions, le lit majeur a généralement une largeur inférieure à 1 kilomètre,

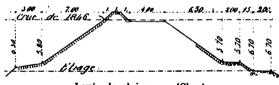
# § V. ENDIGUEMENT DE LA LOIRE

243

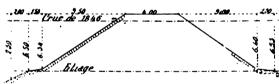
# DIGUES DE LA VALLÉE DE LA LOIRE, DITES INSUBMERSIBLES (Types divers.)



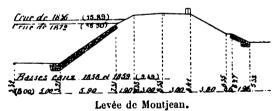
Digue de protection du canal latéral (Nevers).



Levée des Joigneaux (Cher).



Levée du Poids-de-Fer (Cher).



20.00 40 2002.,000.

nulle part supérieure à 2.200<sup>m</sup>; il descend souvent à 500 mètres, parfois même à 250 vers Blois et Jargeau.

259 Forme des digues. - Les digues sont construites avec les terrains sablonneux qu'on trouve sur les lieux mêmes, d'après un profil qui est loin d'être uniforme et dont nous donnons plusieurs types. La face mouillée est d'habitude revêtue en pierre sèche; parfois cependant le revêtement est



maçonné; du côté des terres on voit souvent quelques perrès au pied, le reste du talus est gazonné, et une voie de communication est assise sur le couronnement. Peu de vals sont complètement endigués; la plupart ne le sont qu'à l'amont et sur le côté, tandis qu'à l'aval, l'eau entre par remous. La digue latérale a d'ailleurs été assez prolongée pour mettre à l'abri tout le terrain que l'on voulait protéger.

260. Conséquences des dispositions adoptées pour la Loire. — La Loire dans les grandes crues extraordinaires débite, autant qu'on a pu s'en rendre compte, jusqu'à 10.000 mètres cubes par seconde. Cette énorme masse d'eau (double de celle du Pô) se lance avec une vitesse correspondant à sa pente, dans un lit irrégulier qui a un kilomètre en moyenne, c'est-à-dire moins de la moitié du lit du Pô. Il en résulte une force d'expansion terrible qui a presque toujours eu pour effet de rompre les digues, et de restituer au fleuve le domaine que lui avaient ménagé ses lois naturelles, et que la main de l'homme a si violemment transformé.

Ces |ruptures amènent un emmagasinement d'eau considérable, qui abaisse immédiatement le maximum de la crue; le très notable accroissement de la section mouillée produit le même effet, en sorte que la hauteur à laquelle l'inondation où la superficie protégée est infiniment moindre, où l'hygiène n'était pas sérieusement en jeu, où les vals ne devaient pas être forcément habités et où la largeur indispensable au lit majeur du fleuve avait été abandonnée à des appréciations locales que ne contrôlait aucune vue d'ensemble? Nous sommes forcés de reconnaître que si l'endiguement de la Loire était à refaire, il faudrait le limiter à certaines parties fort restreintes du champ d'inondation, et partout ailleurs laisser aux crues, doubles en volume de celles du Pô, toute la vallée, puisque cette vallée toute entière est encore inférieure en largeur au lit majeur réservé au fleuve d'Italie.

263. Les précédents rendent difficile un changement de système. - Mais l'endiguement de la Loire n'est pas à faire; l'ordre de choses qui s'est établi est né depuis huit siècles et s'est développé avec l'assentiment et le concours du gouvernement. Plus encore, à la fin du siècle dernier et au commencement de celui-ci, l'administration a pris de plus en plus la hautemain sur les levées de la Loire, en a fait sa chose, et assumé ainsi, dans une certaine mesure, la responsabilité des dispositions antérieures. En face de ce puissant patronage qui semblait leur garantir l'avenir, les populations se sont groupées par place, avec plus de foi que de prudence, dans le périmètre submersible; il en est résulté de véritables droits acquis avec lesquels il faut compter aujourd'hui. L'endiguement de la Loire peut donc être modifié, mais les faits accomplis pèsent lourdement sur les mesures à prendre, et rendent difficile toute tentative de marche en sens inverse de celle qui a été suivie jusqu'ici.

264. Études nouvelles. — Cependant après les trois désastres successifs de 1846, 1856, 1866, se reproduisant avec une similitude effrayante pour l'avenir, la question fut remise sur le tapis, et une commission d'inspecteurs généraux des ponts et chaussées fut chargée « d'étudier une combinaison consistant à préparer à l'avance et à régulariser l'introduction des eaux dans les vals endigués, de manière à la rendre inoffensive, ou du moins à en atténuer autant 'que possible les

effets. » Le principe de la solution était, en cas de grande crue, un retour aux conditions naturelles : puisque ce retour se produisait violemment, brusquement, au prix de désastres, quoiqu'on fit pour l'éviter, mieux valait l'accepter franchement et le préparer partout où il 'était acceptable en le ren-

dant aussi pen dommageable que possible.

La commission parcourut la vallée de la Loire, s'éclaira de l'avis des intéressés, et conclut « à l'emploi de déversoirs ouverts dans la partie d'amont des vals, en des points convenablement choisis, déversoirs qui seraient placés à une hauteur suffisante pour garantir les vals contre toutes les grandes crues ordinaires, et auxquels on donnerait la longueur nécessaire pour que, pendant la croissance de la crue et jusqu'à l'instant du maximum, les vals pussent recevoir une quantité d'eau suffisante pour produire, dans le débit maximum de la crue, l'atténuation qui s'est réalisée dans toutes les grandes crues extraordinaires de la Loire.

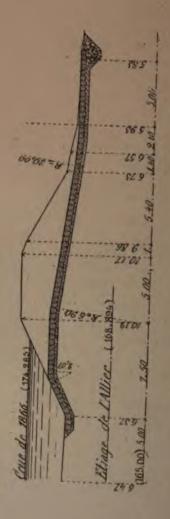
Dans la pensée de la commission, la crête de ces déversoirs devraitêtre à peu près à 5<sup>m</sup> au-dessus de l'étiage, et leur
longueur, variable avec l'étendue du val à remplir, n'excéderait nulle part 600 mètres par ouvrage. Introduites ainsi par
l'armont, les eaux s'écouleraient naturellement par la partie
inférieure des vals non fermés, tandis que dans les vals fermés
on construirait des reversoirs qui restitueraient au lit majeuren
aval le produit des déversoirs d'amont.

265. Conséquences générales du nouveau système.

— Par cette combinaison, les crues ordinaires resteraient endiguées comme elles l'ont été jusqu'ici, et lorsque le danger commencerait les vals se rempliraient de toutes parts, le lit majeur se trouverait élargi dans une notable proportion, et l'on pourrait espérer une atténuation dans le niveau maximum des inondations. En tout cas on éviterait les graves accidents qui suivent la formation des brèches d'entrée et de sortie qui sont, au fond, la partie la plus redoutable du dommage causé.

Ce serait là la marche générale. Exception serait admise pour les parties de la vallée où des centres de population se

DIGUES INSUBMERSIBLES DE LA LOIRE



Déversoir du Bec-d'Allier.

sont établis et où l'on ferait les sacrifices nécessaires pour rendre les digues insubmersibles et inébranlables; même exception encore pour quelques petits vals presque complètement submergés par remous et pour le grand val de l'Authion près Saumur, d'abord parce qu'il laisse au lit majeur une dimension qui paraît suffisante, et ensuite parce que sa situation tout à fait à l'aval des endiguements y rend un emmagasinement d'eau moins nécessaire que partout ailleurs.

Au point de vue technique, les déversoirs devraient être formés en dérasant les levées à la hauteur et sur la longueur prévues pour chaque val, et en garnissant le couronnement et les talus de la partie ainsi dérasée d'un solide revêtement en maçonnerie hydraulique; leta lus du côté des terres devrait être très doux et l'emplacement du déversoir choisi de telle manière que la chute des eaux sur le sol naturel du val eût la moindre hauteur possible. On aurait acquis dans l'intérieur des vals, autour des déversoirs, une zone de terrain sur laquelle on ferait au besoin des travaux de préservation, afin de faire disparaître toute cause de dommage aux terrains rapprochés des déversoirs. La figure ci-jointe donne la coupe de déversoirs exécutés ou approuvés; le prix de ces beaux ouvrages est de 12 à 1.300 fr. par mêtre courant.

266. Dépense probable. — Tel était le plan général des travaux adoptés en principe pour atténuer les dommages causés par les inondations. En'y comprenant la défense des villes et centres habités, les consolidations jugées utiles, tant aux digues qu'aux lignes de chemin de fer exposées aux crues, et les améliorations à apporter à l'écoulement des eaux dans le lit principal, le prix total était de 32.000.000 fr.

267. Études de détail. Oppositions. — Après l'adoption de ces vues d'ensemble, des études de détail furent faites sur divers points du cours de la Loire, et des projets de déversoirs s'élaborèrent presque partout. Ils firent naître de vives oppositions. Certains riverains, qui avaient souffert des irruptions violentes de la Loire, admettaient la submersion en principe, mais refusaient absolument le voisinage du déversoir. Le plus

#### CHAPITRE X. DES INONDATIONS

250

grand nombre voyait avec une crainte instinctive l'envahissement certain de leur val à chaque grande crue et ne pouvait renoncer à l'espoir, cependant toujours déçu, d'une consolidation sure des digues. Bref on dut attendre; l'impression produite par la crue de 1866 s'affaiblit, les événements de 1870 survinrent, et sauf des travaux exécutés pour la défense des centres habités, on n'avança que très peu dans la voie qui devait changer le régime de la Loire. En somme, les choses restèrent, on peut le dire, dans leur état primitif, sur la plus grande partie de la vallée. Faut-il s'en étonner? Nous ne le pensons pas.

268. Discussion des oppositions. — La submersion des vals par déversement était la généralisation d'un fait déjà existant dans la vallée de la Loire. Deux vals sont munis de déversoirs analogues à ceux qu'on projetait; ce sont le val de Saint-Martin vis-à-vis Gien, et le val de Mareau en face de Meung. Le premier val n'a que 3 kilomètres de longueur avec 209 hectares de superficie, et l'ouvrage ouvrant passage aux eaux présente un seuil de 336 mètres de longueur. Le second val, long de 25 kilomètres, couvrant 3.296 hectares, est ouvert par une vaste coupure de 2.780<sup>m</sup> de longueur : l'un et l'autre déversoirs sont arasés à 5<sup>m</sup>,00 au-dessus de l'étiage, à quelques centimètres près.

La commission a remarqué que ces ouvrages, quoique construits avec beaucoup moins de soin qu'on ne se proposait d'en apporter aux nouveaux « permettaient une introduction lente et régulière des eaux qui ne causait aucun dommage aux terres situées à l'aval. Aucune trace de dégradation ne s'y fait remarquer et l'on n'y voit ni ravinement ni ensablement. La vitesse des caux introduites par le déversoir de Saint-Martin n'a pas empêché les dépôts vaseux de se faire dans le val, et l'on reconnaît l'existence de ces dépôts même à une assez faible distance du déversoir. »

Assurément ce sont là des observations bien susceptibles d'inspirer confiance; mais l'intérêt particulier est essentiellement défiant, et les habitudes sont difficiles à changer. Le public se disait que le val de Saint-Martin est si court et si peu

étendu que la submersion par remous devait se combiner avec le remplissage par déversement pour rendre presque nuls les effets de l'introduction des eaux. Au val de Mareau, la position centrale du déversoir, son immense étendue relative, le peu de largeur du périmètre submergé, tout concourait à rendre le remplissage extrêmement court; la lame déversante, Parsuite, lorsqu'elle était devenue assez forte pour exercer une action destructive, trouvait une masse d'eau dormante qui rece-Vait et amortissait son choc. Les choses se passeraient-elles de même dans les vals plus étendus, où l'appel serait plus éner-Sique, où l'eau monterait bien moins rapidement à l'aval du dé-Fersoir, tandis qu'elle s'élèverait tout aussi vite à l'amont? Dans ces vals longs et de largeur variable, inclinés comme la vallée de la Loire et ouverts en grand vers l'aval, ne se créeraitil pas par place des courants d'une énergie redoutable, au cas où la pente se distribuerait autrement dans le périmètre submergé que dans le lit? C'étaient autant de points sur lesquels régnaient des incertitudes, c'étaient autant d'objections aux projets.

Vainement on a invoqué les exemples; vainement on a fait remarquer aux intéressés qu'ils avaient tout à gagner, puisqu'aujourd'hui les irruptions ne sont pas seulement rapides, mais subites; vainement leur a-t-on rappelé qu'au lieu des courants qu'ils se refusent à affronter ce sont des torrents dont ils doivent subir l'invasion irrésistible, et parfois le retrait brusque par l'aval. La conviction ne s'est pas faite dans leur esprit.

269. Nécessité d'agir de concert avec les intéressés. — Il faut autant que possible n'agir que de concert avec les propriétaires des vals. Tant que les dommages causés par l'invasion des eaux sont la suite d'événements de force 'majeure, nul n'en est responsable et tout le monde est forcé de s'y soumettre; s'ils étaient au contraire la conséquence d'une disposition imposée par l'administration, fût-ce dans l'intérêt du plus grand nombre, il n'est pas douteux que tous ceux qui subiraient quelque perte en demanderaient la réparation à l'Étal. On n'a donc pu s'engager qu'avec beaucoup de réserve

dans la voie qu'on s'était tout d'abord tracée. Il a été d'autant plus nécessaire d'agir ainsi que la jurisprudence créée par les lois des 16 septembre 1807 et 28 mai 1858 s'était profondément modifiée. La loi du 10 août 1871 avait appelé les départements à débattre avec plus d'autorité le concours qui leur serait demandé, et la loi du 21 juin 1865 avait mis les riverains à même de veiller eux-mêmes à leurs intérêts. Il devenait inutile dès lors que l'administration usât autant que par le passé d'une initiative qui avait ses dangers. En général, on se borne aux travaux de défense des périmètres habités, qui constituent la seule partie du programme en voie de prompte réalisation.

Quant à l'atténuation des crues par la restitution des valà l'écoulement, c'est une question qui, vraisemblablemerne recevra de solution complète que sous l'influence de novelles grandes crues extraordinaires.

# § VI

# MESURES QUI RESTENT A PRENDRE SUR LA LO

avoir ainsi résumé sommairement, et abstraction faite des tails, l'exposé de la situation générale de la Loire, nous not trouvons en face d'une question redoutable qui résulte de discussion : « Quelles sont les mesures qui restent à prendre en vue d'atténuer les dommages résultant des inondations de ce fleuve? » Il importé avant tout de préciser l'ordre d'idées dans lequel nous allons nous efforcer de la traiter.

Si, par cette question, on entend demander quel programme général l'administration doit suivre, nous répondrons que ce programme vient d'être indiqué, qu'il a été rédigé par les hommes les plus compétents et les plus habiles parmi ceux qui ont consacré leur vie à ce genre d'études, qu'il a reçu la consécration officielle et que, par suite, nous n'avons ni le droi ni la pensée d'en changer un seul mot.

Si, au contraire, il s'agit d'apprécier ce que chaque ingénieur doit faire au milieu des incertitudes que présente la question, en tenant compte de la situation telle qu'elle est, c'est-à-dire du desideratum officiellement posé et des circonstances qui s opposent à sa réalisation complète, nous n'hésiterons pas à faire connaître notre opinion. Il doit être bien entendu, toutefois, que c'est une appréciation toute personnelle que nous ernettons, un simple avis tout prêt à se modifier devant un avis meilleur, et qui n'a, en rien, la prétention d'être une règle. Nous envisagerons d'ailleurs les mesures à prendre à deux points de vue, le point de vue administratif et le point de vue tech nique.

u point de vue administratif, la situation est, il faut en converzir, assez anormale.

≥ =1. Mesures en ce qui regarde la protection des es. — En ce qui concerne les travaux destinés à mettre les vill es à l'abri des inondations, la loi de 1858 a levé toute hésin et il doit être procédé par l'État à l'exécution de travaux, les départements, les communes et les propri taires devant concourir aux dépenses dans la proportion de leur intérêt respectif, suivant décret rendu dans la forme des restements d'administration publique. Ici l'initiative appartient évidemment à l'État. L'ingénieur doit se tenir prêt à repondre aux demandes de projet qui lui-sont adressées, ou mèrne, en cas d'urgence, provoquer ces demandes près de l'administration, puisque celle-ci a accepté le rôle actif et s'est chargée de l'exécution moyennant concours. Peut-être serait-il permis de dire que les habitations menacées sont les Premières intéressées et qu'à ce titre l'initiative serait mieux placée entre les mains des propriétaires ; mais cette considération est dominée par le principe que pose la loi de 1858; il ne faut pas perdre de vue, d'ailleurs, que l'ébranlement des dis ues qui couvrent les centres de population compromet non seu lement les intérêts de fortune, mais encore l'existence des groupes qui se sont formés à leur abri; leur rupture chasse du dernicile nombre de familles et les laisse sans ressources, ce qui est un malheur public aussi bien que privé. Dans une certaine mesure, donc, l'action immédiate de l'État se comprend

et nos mœurs la justifient.

Toutefois, quelque respectable que soit le sentiment de pitié qui s'attache à ces malheurs, l'intérêt public est obligé de n'intervenir qu'en tenant compte de l'étendue de la population protégée et des droits que justifie un passé authentique. Il ne convient pas que quelques habitations clairsemées dans un val entraînent la défense absolue de ce val; il ne faut pas qu'un terrain submersible bâti par spéculation et habité contrairement à la prudence, vienne réclamer une assistance qui n'aurait plus de raison d'être. Dans certains cas l'appréciation peut être difficile, mais si l'on tient compte de ce que la loi se sert du mot « villes; » de ce que, pour ce déplacement de responsabilité, l'équité exige une situation légitimée par le temps et constituant, si nous pouvons nous exprimer ainsi, un droit à protection, on reconnaîtra que le nombre de villes à défendre est très peu considérable et que l'initiative de l'ingénieur n'est tenue de s'exercer que dans des cas fort restreints. Le bon sens et le tact peuvent seuls le guider dans ses propositions à cesujet.

272. Digues ordinaires couvrant les vals cultivés. En ce qui concerne les digues qui couvrent les vals cultivés on se trouve en face de difficultés d'un autre genre.

Certes l'agriculture, en France, a droit aux encouragementes plus nombreux, les plus complets; mais à la condition ces encouragements ne la pousseront pas dans une fâcheuse pour l'intérêt général et pour elle-même. Or, aujor d'hui, chaque rupture de digue amène des pertes agric le d'autant plus sensibles qu'elles sont subites et irrémédiables; en outre, chaque période d'inondation cause au trésor de dépenses importantes pour reconstituer un état de choses qu'en est à peu près sûr de voir disparaître à la première inondation. C'est là un emploi regrettable de la fortune publique, on peut le dire, et l'on doit s'efforcer de le changer. Or comment changera-t-il si, en attendant un accord qui, pour beaucoup de vals, n'est pas près de se réaliser sur la question des déversoirs, on persévère dans les anciens errements, en reconstituant toujours

re qui se détruit? C'est évidemment aller contre le but qu'on poursuit; et, pour pouvoir formuler leurs propositions, les ingénieurs sont forcés de se faire une doctrine et de la suivre résolument, tout en environnant chaque cas particulier de tous les ménagements que commandent les transitions et le respect dù à la propriété.

273. Doctrine à adopter. — Voici la doctrine dont, sauf ordre contraire, il y a lieu à notre avis d'user.

Tant que les réparations à effectuer aux levées se maintiennent au nombre de celles que nous appelons d'entretien ordinaire, ou les exécuterait comme par le passé dans la limite des rédits disponibles. Il ne faut pas laisser dépérir, faute d'un léger sacrifice, des ouvrages qui ont rendu des services et qui en rendront de plus grands encore, le jour où l'on aura la raison de ne leur demander qu'une résistance proportionnée à leurs forces; l'administration engagerait sa responsabilité morale si elle ne continuait pas la tâche qu'elle a lacitement acceptée, là où cette tâche n'a pas produit d'effets

regrettables, et où l'avenir est à sauvegarder.

Si, au contraire, à la suite de quelque événement imprévu, les avaries sont telles qu'elles nécessitent des travaux de grosse réparation, si notamment le fleuve a reconquis violemment son domaine et fourni ainsi la preuve de son besoin d'expansion, il ne devrait être proposé d'autres travaux neufs que ceux qui rentrent dans l'esprit du programme officieltement tracé, parce que ce sont les seuls que l'État soit réellement tenu de subventionner. Nous disons dans l'esprit du Programme et nous insistons sur ce mot, parce que s'il était nécessaire, dans une pensée de transaction, de modifier les délails prévus, tout en respectant le principe, il ne faudrait pas hésiter à le faire et à réaliser ainsi, partout où ce serait Possible, un pas dans la voie de progrès qu'on s'est tracée, lit-ce au prix de quelques sacrifices. On augmenterait ces sacrifices, et surtout on en hâterait l'accomplissement, en faveur de ceux qui, remettant les responsabilités à leur place, s'organiseraient en syndicat conformément à la loi du 21 juin 1865, pour prendre dans l'avenir eux-mêmes la défense de

leurs intérêts, et veiller à la conservation des digues que l'État leur aurait remises, modifiées et consolidées en vue du nouveau système d'écoulement.

Hors de cet ordre d'idées, il nous paraît difficile de ne pas tomber dans l'arbitraire en fait de propositions, et de ne pas aller en sens contraire des principes que l'administration elle-même a posés. Assurément, il ne faut pas, en face de précédents séculaires, se montrer trop absolu dans ses idées, mais il est indispensable de se fixer un but et d'y marcher. Si des concessions sont nécessaires, qu'elles soient proposées, mais qu'en compensation l'avenir se dégage par quelque point du cercle vicieux dans lequel on est enfermé; c'est là une condition essentielle à maintenir : on consentirait par exemple à accorder. à titre gracieux, pendant les premières années, des secours analogues à ceux qui ont été accordés jusqu'ici; mais seulement en échange d'une reconnaissance formelle du principe et d'une organisation syndicale, sérieuse et légale, qui sauvegarde l'avenir. Peut-être sur quelques points aurait-on le spectacle pénible d'ouvrages tombés et non relevés; mais ces exemples porteraient leur fruit avec le temps, et rendraient à coup sûr la transition moins longue.

274. Dispositions techniques. — Arrivons actuellement aux dispositions techniques qui peuvent être adoptées, soit pour consolider les digues sur les points où elles doivent être maintenues et affermies, soit pour les ouvrir sur les points où elles ont à livrer passage aux eaux des grandes crues. Exposons d'abord la constitution de ces digues.

La vallée de la Loire est généralement formée d'immenses dépôts de sable s'étendant d'un versant à l'autre, et formant un banc d'une profondeur très considérable. Le sol y est par suite essentiellement perméable et si la couche supérieure, transformée en terre végétale par la culture et les dépôts des crues, est un peu moins facile à pénétrer par les eaux, elle ne se ressent pas moins de son origine et demeure partout légère et sablonneuse.

275. Les digues supportent mal la submersion. -Lorsque l'on a construit, réparé et exhaussé les levées, on n'a pu que rarement, en raison du prix des transports, avoir recours aux déblais des coteaux; le plus habituellement ces levées ont été formées du sol même de la vallée, c'est-à-dire de sable ou de terre sablonneuse. Il en est résulté pour les Ouvrages de défense un défaut de cohésion qui les rend facilement affouillables, et un manque d'étanchéité qui favorise beaucoup leur destruction. Ceci dit, les brèches peuvent se former de deux manières différentes ; par submersion et par Imbibition. La submersion qui entraîne le déversement des caux sur le sommet fait naître, dans le talus d'aval et sur la crète, des érosions qui s'augmentent avec une grande rapidité qui, en quelques moments, amènent la destruction de l'ouvrage. On conçoit l'impossibilité de lutter contre l'action un peu prolongée d'une cascade sur un talus sablonneux à perme revêtu; aussi est-il admis à peu près partout qu'une digue surmontée est perdue, et que toutes celles qui sont de stimées à supporter la poussée des eaux doivent surpasser les plus hautes crues. Sur beaucoup de points, pour se dispenser d'une aussi grande élévation, on a cru pouvoir se contenter de placer à l'amont de la plate-forme un bourrelet de beaucoup moindre épaisseur, destiné à ne contenir que la tranche supérieure de l'inondation; mais il est rare qu'on s'en soit bien trouvé. Ce bourrelet, exposé à toutes les alternatives de chaleur et de froid, de sec et d'humide, se désagrège promptement; les racines des arbustes, les petits animaux, les eaux de la plate-forme, le pénètrent et le divisent, en sorte que sous la charge de l'inondation, des suintements se forment, pais se développent peu à peu et se transforment en ruptures en trainant comme conséquence celle de la digue.

de toute digue destinée à être chargée par les eaux doit être plus élevée que la plus haute crue connue ; on y placera néanmoins un bourrelet, mais cette défense supplémentaire n'aura d'autre destination que de protéger la partie supérieure de l'ouvrage contre l'action des lames, et de répondre, soit aux besoins de la circulation pour sa sécurité, soit à la rigueur



#### CHAPITRE X. DES INONDATIONS

258

aux exigences d'un niveau supérieur de quelques centimètres au niveau prévu.

276. La rupture par imbibition. — La rupture par imbibition est celle qui se présente le plus fréquemment, et elle est bien difficile à éviter ; voici comment elle se produit :

A mesure que l'eau monte en rivière, des suintements de plus en plus considérables se font sentir sur la face opposée; là où se trouve le maximum de perméabilité (en tenant compte de la pression et de l'épaisseur), le talus du côté des terres se délite, et un'premier affaissement a lieu. Cet affaissement, souvent sans importance, est suivi d'un autre qui vient d'autant plus rapidement que la perméabilité s'est accrue par la diminution d'épaisseur; puis, après quelques accidents successifs, le reste de l'ouvrage, n'ayant plus la résistance suffisante, est emporté; et la brèche se produit sur de vastes proportions. Il n'y a pas, ainsi qu'on le voit, rupture brusque. Sous l'influence de son imbibition la digue fuse, si nous pouvons nous exprimer ainsi. Elle se liquéfie, s'étale par le côté exposé à l'air et ne s'enfonce définitivement qu'au moment où ce travail l'a suffisamment affaiblie.

L'explication de ce genre d'avarie nous semble être que le talus qui convient au sable terreux sec ne suffit plus à l'équilibre de la même substance mouillée. De là se déduit que le remède doit être : ou d'empêcher le sable d'être mouillé, ou de modifier ses conditions d'équilibre quand il est mouillé.

277. Procédés de réparation. Empécher la digue de se mouiller. — Empécher le sable de s'imbiber est une œuvre coûteuse, difficile, et pour laquelle on ne peut espérer de réussite durable; on a tenté de la réaliser en quelques endroits en revêtant les digues d'un perré maçonné, mais nous ne saurions avoir foi dans ce moyen: Les remblais, avec les alternatives de sec et d'humide, ont des variations de volume que ne peuvent suivre les maçonneries; les eaux de pluie s'infiltrent par le haut entre la terre et les pierres; et si elles ne s'ouvraient pas naturellement leur passage par les joints en vertu de la pression, les gelées amèneraient nécessairement des disjonc-

tions. L'étanchéité cesserait donc, sinon partout au moins sur que lques points, et ce serait assez. Comment éviter d'ailleurs que cette immense cuirasse assise sur un sol perméable soit tournée par les fondations? Comment la soustraire à l'action len te du temps qui l'attaque de toutes parts? Autant nous avons foi clans un massif de maçonnerie solide, homogène et bien dé, autant nous nous défions d'un revêtement mince, rigide et sans élasticité, surtout quand il s'agit de se tenir prêt à toute époque et en toute saison; nous ne saurions conseiller ce mode de consolidation des digues.

28. Changer la constitution de la digue au point où elle fose. - Au contraire, changer la constitution de la digue point où elle fuse est une opération naturelle, pratique et qui va porter le remède où est le mal. L'expérience l'a d'ail leurs consacrée ; dans les grandes crues, les populations, au moment du danger, chargent de moellons bruts les parties qui se ramollissent; ces moellons forment au sable une sorte de parement qui en arrête les mouvements, et sur plusieurs emplacements nous avons retrouvé les matériaux qui y ont été déposés et qui sont en quelque sorte les témoins des efforts faits et des succès obtenus, Malheureusement, c'est partout qu'il faudrait ce chargement, et au moment où le péril est imminent le temps et les moyens d'action font défaut. On n'a pas, d'ailleurs, dans ces périodes d'alarme, la possibilité d'agiravec méthode, et c'est avant le danger qu'il faut effecuer une consolidation rationnelle basée sur l'idée que nous Venons d'indiquer et que nous allons développer.

Il est évident que les digues ne fuseraient pas si elles avaient, du côté opposé à la rivière, le talus qui convient à la terre sablemneuse mouillée. Ce talus, c'est une surface courbe concave dont la tangente peut supporter une certaine inclination à la partie supérieure, mais se rapproche rapidement de l'horizontale à mesure que l'on envisage un point moins éloigné du pied. Plus l'eau qui les pénètre s'y trouve emprisonnée, plus le sable fuse et plus le talus tend à prendre de pied; mieux on les égoutte au contraire (qu'on nous passe l'expression) et plus le sable qui les compose a de résistance propre. Cette

considération nous conduirait donc à un profil curviligue concave, dont la base serait extrémement large et dont il serait important d'assurer l'assainissement, afin que l'imbibition ne

ramollisse pas la terre jusqu'à la fusion.

Mais c'est là une conception théorique; le cube des remblais est trop considérable, le terrain occupé trop étendu, le profil d'équilibre trop peu connu, pour que l'on tente un semblable essai; ce n'est pas d'ailleurs utile, puisque le pied du talus ne sert que de support au corps de la digue et peut être avantageusement remplacé par un solide mur en pierre sèche, qui rendra le même service, tout en comprimant mieux sous lui le sol naturel que ne le faisait le remblai. Si l'on a le soin, sur la face cachée du mur en pierre sèche, de remblayer avec des pierres plus petites, puis de placer derrière ces petites pierres du simple gravier de façon à faire du mur un véritable filtre, on aura tous les avantages de la digue en terre, sans en en avoir les inconvénients. L'ouvrage, s'il s'imbibe, s'assèchera naturellement, et comme le sable, soutenu par le mur d'aval et égoutté, est sans poussée, aucun affaissement ne pourra avoir lieu. La digue laissera filtrer l'eau qui l'aura pénétrée comme elle le fait aujourd'hui, mais il y aura cette différence capitale qu'aujourd'hui l'écoulement est accompagné d'entraînements de terre qui font dégénérer les suintements en renards, tandis que, derrière le mur, les entraînements de terre étant impossibles, la digue restera debout.

Cette disposition a été appliquée aux digues d'enceinte de la ville de Roanne. La levée n'a pas subi depuis sa restauration le choc d'une crue extraordinaire, mais elle a supporté celle d'octobre 1872, qui a été la plus forte après celles de 1846, 1856 et 1866, sans que jamais les filtrations aient cessé d'être claires, ce qui indiquait l'absence complète d'entraînement de matière, et montraît que l'ouvrage n'était pas rendu à la limite de sa résistance. D'autres digues, non consolidées, étaient loin de se comporter de même, et la comparaison est de na-

ture à donner espoir.

279. Consolidations accessoires. — Toutefois, si nous croyons indispensable de consolider la face aval des digues,

en leur donnant une épaisseur suffisante, modifier leur constitution à leur point faible, c'est-à-dire à l'aval, et chercher à les rendre étanches, ainsi que le sol avoisinant, à l'aide d'un revêtement végétal en buisson aussi épais, aussi vivace que possible.

280. Digues qui couvrent les centres habités. - Nous avons dù entrer dans cette longue discussion, parce que les digues dont nous venons de parler sont de beaucoup les plus nombreuses sur le cours de la Loire et qu'il s'attache par suite un grand intérêt économique à les consolider plutôt qu'à les remplacer. Nous tenons à faire remarquer toutefois que le système que nous avons indiqué n'est pas applicable partout. S'il s'agit par exemple de la protection d'un quartier populeux, d'un port, et en général d'un périmètre restreint et habité, il peut y avoir intérêt à recourir à des ouvrages plus étanches, plus sûrs, bien que beaucoup plus chers; alors rien ne remplace la maçonnerie et les corrois. Dans ce cas, il n'est pas possible de tracer de règle, c'est une digue de réservoir que l'on a à construire, sur une petite échelle, il est vrai, mais avec toutes les précautions que comporte ce genre de travail. Il faut tenir compte des matériaux dont on dispose, du sol sur lequel on fonde, et des ressources dont il est rationnel de disposer eu égard à la valeur des propriétés protégées. D'une construction générale on passe à un ouvrage d'art spécial, et nous ne pouvons que renvoyer à la partie de cet ouvrage où nous traiterons des digues de réservoir. Si la hauteur de la digue ne nécessite pas d'aussi minutieuses précautions, l'importance des intérêts protégés justifie néanmoins des soins du même genre et des études analogues.

281, Digues à ouvrir à l'écoulement des erues. Deux ordres d'idées distincts. — Passons maintenant à l'examen des mesures à prendre pour l'ouverture des digues qui doivent livrer passage aux grandes eaux.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, l'administration a approuvé un programme qui consiste à construire un ou plusieurs déversoirs à l'amont des vals endigués, en plaçant la

crête de ces ouvrages à 5 mètres environ au-dessous de l'étiage, et en fixant leur longueur d'après cette condition ; que le volume d'eau emmagasiné dans le val pendant la croissance des caux, et jusqu'à l'instant du maximum, soit suffisant pour produire dans le débit de ce maximum l'atténuation que les brèches ont réalisée dans toutes les grandes crues extraordinaires de la Loire. M. l'ingénieur en chef Jollois (Annales d'ao at 1869) a donné le moyen de calculer, à l'aide de quelques tâtonnements, la longueur de déversoir qui correspond à cette condition, en sorte que, sur ces bases, des projets peuvent être rédigés et offrir toutes les garanties qu'on peut espérer en semblable matière, comme dispositions de principe. En application, on s'efforcera de placer les déversoirs au droit d'un relief du sol, de telle façon que les eaux aient en les quittant la moindre chute possible. On fera des plantations ainsi que des enrochements dans la zone immédiatement soumise au choc de la lame déversante, sur des terrains acquis dans ce but; on revêtira la digue aux abords du déversoir pour éviter les érosions, et sur ces données, si l'on réussit à les faire accepter par les intéressés, on aura réalisé ce qui est probablement la meilleure solution de la question.

Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que cette question présente deux faces distinctes: l'une est l'amélioration générale de l'écoulement des crues et regarde l'État, l'autre est l'aménagement le meilleur possible des propriétés au point de vue de leur intérêt et concerne avant tout les possesseurs du sol. Si donc l'État obtient gain de cause par l'introduction des eaux dans les vals, il a tout avantage à se désintéresser en matière de transformation du système actuel, et à laisser faire les riverains à leur guise, sous leur responsabilité. Il ne sera pas inutile néanmoins d'examiner à ce propos les idées qui se sont produites parmi les intéressés et dont nous avons vu parfois l'application demandée.

282. Vues qui se sont révélées dans le public. — Les enquêtes qui se sont faites en 1867, 1868 et 1869, les discussions auxquelles on s'est livré à cette époque, ont un peu éclairé l'opinion publique sur le danger des digues insubmersibles; dans beaucoup de vals un certain nombre de propriétaires pensent que les ruptures sont un accident si grave qu'il est indispensable de ne plus s'y exposer, et qu'il y a lieu d'admettre les eaux dans le périmètre endigué, mais ils sont loin d'être d'accord sur le mode et sur le moment de cette admission.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, les déversoirs les effraient, sans doute parce qu'ils rappellent à première vue les brèches qui ont fait tant de mal. On trouve surtout les avis favorables à ce mode d'introduction des eaux parmi ceux qui ont leurs propriétés au-dessus de l'emplacement projeté pour le déversoir, et il faudra bien du temps encore, tant qu'on n'aura pas d'expériences concluantes, pour que chez les autres cette répugnance cesse; nous le pensons du moins.

283. Interruption des digues de distance en distance. - Quelques-uns ont fait revivre une idée déjà ancienne et qui avait été mise en avant par l'inspecteur général des Turcies et levées après la crue de 1790 <sup>1</sup>. Ils proposent de ménager dans les levées des passes espacées de 1.000 à 1.500 mètres les unes des autres, qui laisseraient refluer les eaux dans les vals dès qu'elles dépasseraient les chantiers. Les crues envahiraient alors librement la vallée, et la digue tronconnée qua resterait n'aurait plus à remplir qu'un but, empêcher le cou rant de raviner les terres et par suite le fleuve de changer d lit, ce qui serait déjà un grand service rendu. Ce système fu repoussé à la fin du siècle dernier, et il le serait probablemer encore aujourd'hui presque partout, parce qu'il heurte de front les habitudes consacrées et que tout changement brusque en semblable matière est irréalisable. Cependant, il ne faudrait pas affirmer qu'il est sans avenir. Si beaucoup de vals trop étroits et trop longs nécessitent, pour leur endiguement. des frais hors de proportion avec l'intérêt qu'ils représentent, est-il possible de condamner à priori un retour à l'état naturel? En général, la submersion a d'autant plus d'inconvénients qu'elle s'opère brusquement; l'introduction du sable sur les

<sup>1.</sup> Troisième volume de l'ouvrage de M. Champion, pages 69 et 80.

terres, notamment, est la conséquence forcée d'une certaine vitesse dans la nappe envahissante, et les passes proposées, convenablement situées et suffisamment larges, orientées dans un sens autre que la direction du courant, seraient à ce point de vue une bonne disposition. Que l'on y joigne une transformation des cultures, le déplacement des rares habitations qui peuvent se trouver inondées, et il n'est pas prouvé qu'avec le temps cette solution franche, nette, de la question ne puisse pas recevoir des applications.

284. Abaissement des digues à l'aval en plan incliné. -D'autres, préoccupés d'assurer la submersion presque complète par remous, ont proposé de diminuer progressivement la hau-Leur des digues, en allant de l'amont à l'aval, de telle façon que l'introduction des eaux par la partie inférieure des vals trouve, à mesure que la crue monte, un effacement progressif de l'endiguement. Le val se remplirait alors jusqu'au pied de la digue de tête et le déversoir, s'il était nécessaire d'en construire, verserait ses eaux, lorsqu'il commencerait à fonc-Lionner, dans une nappe dormante qui en amortirait le choc. Dans ce système, qui serait de nature à sauvegarder l'intérêt de l'écoulement, il semble y avoir deux inconvénients graves. Le premier, c'est que tous les points de la digue doivent être appelés successivement à jouer le rôle de déversoir, ce qui peut entraîner une dépense considérable à la partie supérieure des ouvrages. Le second, c'est que la levée dans sa partie dérasée ne fait plus obstacle à l'invasion des courants violents, et c'est là un danger très sérieux.

285. Abaissement général des digues. — Une troisième opinion s'est encore produite, et a d'autant plus d'autorité qu'elle est d'accord en principe avec des propositions qui ont été faites pour plusieurs points de la vallée du Rhône. On a demandé que les levées fussent arasées partout à 3<sup>m</sup> 80 au-dessus de l'étiage; au-dessous de ce niveau les vals seraient fermés, tandis qu'au-dessus les grandes crues trouveraient la vallée libre. Pour cette éventualité des vannages permettraient, au moment où la crue arriverait à des proportions menaçantes,

d'introduire les eaux dans les périmètres protégés, et lorsque la nappe supérieure prendrait possession du passage, elle n'aurait aucun déversement à produire par-dessus les digues novées.

En agissant ainsi, on passerait, on le voit, brusquement de l'emploi des digues insubmersibles à l'emploi des digues submersibles, ce qui serait une véritable révolution. Le système des digues submersibles, applicable peut-être dans une vallée presque horizontale comme la vallée de la Saône, nous paraît difficilement réalisable avec une pente comme celle de la Loire. D'abord le dérasement général des levées permettrait aux courants du thalweg de se faire sentir sur les terres cultivées ; puis les vals devraient nécessairement se subdiviser beaucoup par un nouveau système de digues transversales, si l'on voulait assurer leur remplissage à peu près complet avant la période haute des crues sur un terrain dont la pente est de 0",40 par kilomètre. Chaque case ainsi formée devrait d'ailleurs être munie de ses appareils spéciaux d'introduction et d'évacuation des eaux, en sorte qu'on se trouverait en face de toute une organisation nouvelle heurtant la tradition, exigeant une initiative en contradiction avec l'attitude passée, et qui par suite aurait peu de chances d'être accueillie sur la Loire.

286. Déversoirs étagés de l'aval à l'amont. — Enfin il est un dernier système intermédiaire entre ceux dont nous venons de parler et qui serait par suite de nature à rallier un certain nombre de suffrages, parmi ceux qu'effraient les déversoirs tels qu'ils ont été projetés. On adopterait le système des passes au travers des digues ; mais ces passes, au lieu d'être toutes au niveau de la rive, auraient leur seuil à des hauteurs variables, depuis ce niveau de la rive à l'aval, jusqu'à la hauteur de 5<sup>m</sup>, au-dessus de l'étiage à l'amont, en tête du val. En d'autres termes la levée serait percée d'une série de déversoirs étagés à des hauteurs différentes, et remplissant ces conditions : que chacun d'eux ne commencerait à fonctionner que lorque le suivant aurait amené par remous une lame d'eau à son pied. Il arriverait alors que le val se remplirait par d'autant plus de déversoirs que la crue deviendrait plus forte

nions diverses exprimées sur cette question si controversée, et il faut bien le dire encore si incertaine des endiguements de la Loire:

Il y a lieu de revenir sur ce qui a été fait dans le passé. An lieu d'exhausser et de consolider les digues, il faut ouvrir aux grandes crues la vallée dans toute sa largeur à partir de 5° au-dessus de l'étiage au moins, partout où peut être réalisé par ce moyen un emmagasinement d'eau susceptible d'influer sur le débit de la crue.

Exception serait faite pour les centres habités que leur importance ou des précédents anciens et authentiques commandent de mettre à l'abri des inondations. Ces périmètres exceptionnels, qu'on réduirait autant que possible en nombre et en étendue, seraient soustraits à la submersion soit par la restauration des anciennes digues, soit par la création de nouveaux ouvrages d'art, dans les conditions prévues par la loi du 28 mai 1858 (une grande partie de cette œuvre est accomplie).

Le reste des digues serait entretenu sur les anciens errements, sur les points où elles se maintiendraient en bon état, tant que les propriétaires des terrains qu'elles couvrent ne demanderaient aucune transformation.

En cas d'avarie et surtout de destruction par les crues, l'État subordonnerait son concours pour la restauration des ouvrages à l'adoption par les intéressés d'un système assurant l'introduction des hautes eaux dans les conditions indiquées plus haut, et garantissant l'avenir par une association syndicale, légale et durable, établie conformément à la loi du 21 juin 1865.

Si cette double condition était remplie, l'administration s'efforcerait d'aider les syndicats de ses subventions et de ses conseils, dans la proportion des intérêts respectifs mis en jeu. Elle les laisserait libres notamment, sous leur responsabilité, de choisir le système qui leur conviendrait le mieux pour l'introduction des eaux, du moment où une entrée suffisante serait assurée, au niveau convenu.

Dans le cas où ces conditions ne seraient pas remplies, l'administration serait réduite à décliner toute responsabilité dans une situation que les forces naturelles ont amenée et reproduisent périodiquement. Elle pourrait assurément, suivant ses ressources anuelles disponibles, venir en aide à ceux qui souffrent des inondations, mais elle ne saurait perpétuer cette situation au détriment de l'intérêt général, qui n'en souffre pas moins.

# § VII

#### DES ENDIGUEMENTS SUBMERSIBLES.

Nous avons vu, par ce qui se passe sur le Pô, ce que sont les endiguements insubmersibles, lorsqu'ils ont été conçus et exécutés dans des conditions rationnelles; la vallée de la Loire nous a montré les embarras dans lesquels on se trouve lorsque les lois naturelles et économiques cessent d'être respectées; il nous reste à parler des endiguements submersibles ont été jusqu'ici plutôt proposés qu'exécutés et dont nous ne connaissons pas d'application sur une grande échelle à comparer aux exemples que nous venons de citer.

La théorie des digues submersibles est celle-ci :

S. Idée de principe. — Les grandes crues des cours d'en sont une force contre laquelle il est irrationnel et impossible de lutter dans la plupart de nos vallées; il faut néces irrement leur laisser le champ libre et leur permettre de magasiner dans tout l'espace compris entre les versants. En sont d'ailleurs des avantages de fertilisation qu'il ne faut négliger, en sorte que, sauf les ouvrages nécessaires à enir les érosions et les changements de lit qui les suivent, le chordement devra être libre pour toutes les crues extraordissires.

les mêmes exigences; ces dernières se produisent d'ailleurs à un moment où la submersion des récoltes est essentiellement nuisible et il y a lieu de les empêcher d'envahir les terrains cultivés.

On peut atteindre ce double résultat en endiguant le cours

d'eau à une hauteur qui n'excède que légèrement celle des crues d'été. Ces crues alors demeureront contenues dans leur limite, et si plus tard les besoins de l'écoulement viennent à l'exiger, le périmètre jusque-là protégé se remplira et la nappe d'inondation deviendra tout à fait libre dans sa partie

supérieure.

Pour que l'introduction des eaux ne soit pas brusque et par conséquent nuisible, au moment où la crue prend un caractère alarmant, le périmètre protégé sera divisé par des digues transversales (à défaut d'obstacles naturels) en une suite de compartiments assez restreints pour qu'il soit possible, au moyen d'ouvrages spéciaux, de les noyer par remous avant le moment où l'inondation dépassera le niveau dit « de protection. » Des revêtements suffisants défendront d'ailleurs ces digues à leur partie supérieure, soit contre l'action des courants s'ils viennent à se produire, soit contre les déversements temporaires qui pourraient éventuellement arriver quand la crue prend possession de la vallée.

Cette combinaison présente, en théorie, une solution heureuse du problème; mais son application est loin d'être géné-

ralement pratique, ainsi qu'on va le voir.

289. Incertitude du niveau de protection. — D'abord la distinction entre les crues d'été et les crues d'hiver n'est pas nettement tranchée en France, où les mois de mai, juin et septembre amènent souvent de très fortes pluies suivies de débordements. Les observations ne remontent pas assez loin dans la plupart des pays pour que le passé garantisse l'avenir, et la fixation du niveau de protection sera fort difficile par ellemême.

Elle le sera bien plus encore, si l'on a à prévoir un endiguement submersible sur une grande échelle comme il faudrait le faire pour que l'opération fut fructueuse, car alors on se trouverait en face d'un élément nouveau et inconnu avec lequel il faudrait cependant compter. Ces crues ordinaires que l'on compte contenir, monteront le jour où leur expansion sera arrêtée. Plus l'endiguement sera prolongé, et plus l'emmagasinement supprimé prendra d'importance, plus par suite la vallée; plus la crue, ordinaire à l'amont, s'approchera de l'extraordinaire à l'aval. Où sera dès lors le niveau de protection et à quelle hauteur va-t-on l'arrêter? Il est d'autant plus difficile de le dire que la situation initiale devant s'aggraver, à mesure que l'endiguement se développera, le début se trouverait grevé de servitudes inutiles si la suite de l'opération ne se réalisait pas. Il y a donc sur ce point spécial une grave incertitude qu'on ne voit pas le moyen de lever.

290. Digues transversales. - Si maintenant on examine la question de dépense, on est frappé du développement des ouvrages à construire. Les vallées du Rhône, de la Garonne, de la Loire, dans leur partie centrale, ont des pentes de 0m,35 a 0 , 60 par kilomètre ; leurs affluents présentent des déclivités eucore plus fortes. Comment alors y étager des digues qui circonscrivent des surfaces sensiblement horizontales? Le nombre de ces digues devra être énorme ou, si on le réduit, les digues à l'amont subiront tour à tour un déversement d'aulant plus dangereux que la pente du cours d'eau sera plus considérable. Il est évident en effet que l'eau qui pénétrera Par remous, dans chaque case de ce vaste damier, y montera lout au plus à la hauteur de la digue à son extrémité aval, tandis que l'eau qui franchira la digue à l'amont y arrivera Ever le niveau d'amont. De là nécessité de prévoir des défenses aussi multipliées que les digues.

291. Prix et dangers de l'endiguement submersible. — Une estimation a été produite pour la vallée de la Garonne; elle a amené, tout compte fait, à la conclusion suivante de M. l'inspecteur général Payen: « En résumé, le profit des digues décroît à mesure que celles-ci s'étendent, et pourrait devenir à peu près nul, sinon se changer en perte, dans les parties inférieures de la vallée, si l'endiguement devenait général. L'administration devra conséquemment se garder de pousser les propriétaires dans cette voie par des encouragements. Ne pouvant s'opposer à l'exécution de tels travaux, il conviendra qu'elle se borne à tolérer ceux que les riverains

voudraient entreprendre à leurs risques et périls et sous leur responsabilité; mais en fixant suivant un projet d'ensemble préalablement arrêté l'emplacement et la hauteur à donner aux digues. » La dépense première était de 12.600.000 fr. et on ne laissait pas ignorer que l'aggravation des crues qui en résulterait accroîtrait ce chiffre dans une proportion inconnue. On recommencerait donc là ce qui s'est fait sur la Loire, et les endiguements submersibles ne sont qu'un acheminement vers un inconnu plein de dangers.

Sous quelque face donc qu'il se présente, l'endiguement est une opération des plus périlleuses, au moins sur notre territoire, avec les vallées que comporte notre situation géogra-

phique, et il est difficile de le conseiller.

Ajoutons que le plus souvent la protection qu'on en retire, quand elle peut se réaliser sans accidents, est une source de déceptions. Pendant la période d'inondation, le sol perméable de la vallée laisse toujours s'introduire une certaine quantité d'eau dans les périmètres endigués; la pluie, les sources, les égouts y ajoutent d'autant plus que la crue est plus longue, et en somme cet état anormal suffit à troubler les conditions habituelles de la vie alors qu'on espérait de l'endiguement une protection complète et efficace.

Si donc on peut être conduit à compléter l'endiguement d'un sol inondé, il est permis de dire qu'il faut bien rarement endiguer un sol submersible avec espoir de le rendre habitable.

#### § VIII

## RÉSUMÉ ET CONCLUSION.

292. Résumé de la discussion. — Arrivé au terme de cette étude, si nous jetons un coup d'œil en arrière, nous voyons que les diverses tentatives faites pour réagir contre les inondations semblent démontrer que l'on ne peut se sous-

traire à ce grand phénomène naturel, qui produit du bien et du mal. Il produirait beaucoup moins de mal si la main de l'homme ne l'avait modifié par des opérations imprudentes ou des luttes irréfléchies.

D'une manière générale, les curages l'aggravent.

L'emmagasinement des eaux vers les sources serait certainement la meilleure solution du problème. Généralisée, cette opération amènerait avec le temps, non la suppression des inondations, ce qui serait un malheur; mais l'abaissement du niveau des grandes crues, qui seules sont vraiment dommageables. Mais les conditions économiques de cette opération sont telles que ce n'est qu'après une longue période d'efforts qu'on obtiendra un résultat bien sensible.

Les endiguements ne sont pas un remède: c'est le commencement d'une lutte sans fin, pleine d'accidents et de déceptions; il n'est permis de l'entreprendre qu'en sauvegardant l'intérêt général, et au nom d'un intérêt local assez puissant pour en justifier les frais. Cette double condition ne paraît les réaliser dans la plupart de nos vallées.

Il ne reste dès lors qu'une chose à faire, C'est de subir le mal en le rendant aussi peu dommageable que possible. Pour

Il faut protéger, par de solides digues insubmersibles, les villes menacées, toutes les fois que leur droit à protection est établi

Et pour les terrains cultivés, tout en les protégeant contre l'invasion des courants, il faut amener les cultures à se modifier en vue de submersions fréquentes, dont l'intensité se modérera avec les emmagasinements d'eau vers les sources.

A mesure que cette transformation des cultures se réalisera, au lieu de combattre l'introduction des eaux, on l'aidera dès le début, de manière à la rendre lente, facile, paisible surtout, et à en retirer ainsi tout l'effet fertilisant.

293. Ouvrages à consulter. — Annales, de 1847: M. Baumgarten, Mémoires sur les rivières de Lombardie. Annales de 1860: M. Vallès, Inondations et étangs. La Seine, par M. Belgrand.



274

Mémoire sur les ouvrages de défense contre les inondations, par M. Comoy.

Rapports sur les travaux à faire dans les vallées du Rhône, de la Garonne et de la Loire par MM. Belin en 1862, Payen et Comoy en 1867.

#### CHAPITRE XI

# PRÉVISION ET ANNONCE DES INONDATIONS

#### SOMMAIRE :

ce e procede pour le haut des vallées. —302. Evaluation de la pluie moyenne. —303. Écart en temps entre la chute d'eau et le maximum de la crue. —304. Rapport de la chute d'eau au maximum de la crue. —305. Application faite à la vallée de la Loire au-dessus du Bec-d'Allier. —306. Diffèrence à faire entre la pluie effective et la pluie totale Évaluation de la pluie absorbée. —307. Avantages de ces recherches. —308. Choix à faire dans les observatoires, —309. Fonctionnement intermittent des observations. —310. Signes précurseurs des inondations.

2. — Annonce des inondations : 311. Initiative à prendre en matière d'avertissements. — 312. Les avertissements ne doivent pas être trop précis. — 313. Degré de fréquence des avertissements. — 314. Mode de transmission des avertissements.

#### § Iºr

#### PRÉVISION DES INONDATIONS.

294. Intervention nécessaire de l'Administration. -Si les inondations sont un phénomène naturel de force majeure, auquel il est dangereux de vouloir se soustraire, il n'en est que plus nécessaire de prévoir le moment où elles se produiront ainsi que leur intensité future, et de porter ces renseignements à la connaissance des populations intéressées.

#### 276 CHAPITRE XI. PRÉVISION ET ANNONCE DES INONDATIONS

L'intervention de l'Administration est commandée en pureil cas, car, dans les moments d'alarme, les bruits les plus contradictoires se répandent et voilent entièrement la vérité. Tantôt ce sont les données relatives à une localité qui sont appliquées à une autre; tantôt ce sont des intérêts privés qui, alarmés, exagèrent le mal afin de stimuler la vigilance de leurs correspondants; tantôt c'est l'autorité locale elle-même qui, sur la foi de nouvelles sans authenticité, prend des mesures inutiles ou excessives. En un mot, la confusion la plus extrême règne dans une contrée, aux approches d'une inondation : si l'on veut éviter les effets fâcheux de cette confusion, il est indispensable de se rendre compte de la situation le plus longtemps possible à l'avance et d'éclairer les populations par des avertissements assez répétés pour éviter l'impatience, assez rares pour attirer l'attention.

D'où deux choses à étudier : la prévision des inondations et leur annonce au public.

295. La prévision des inondations est un cas particulier de la prévision des crues. - La prévision des inondations n'est qu'un cas particulier de la prévision des crues. Les avertissements sont plus désirables puisque les circonstances sont plus graves, mais ils sont plus faciles à émettre, parce que le phénomène en s'agrandissant s'est simplifié. Quand l'inondation menace, la pluie est forte et générale, la distinction entre les terrains perméables et les terrains imperméables tend à s'effacer par la saturation des premiers, et les chances augmentent pour que l'on voie les mêmes pluies reproduire les mêmes effets, à des époques différentes.

Nous avons exposé, en parlant de la prévision générale des crues, les procédés empiriques à l'aide desquels sur divers points du territoire on était arrivé à des résultats assez satisfaisants; ces procédés s'appliquent aux inondations comme aux crues moyennes et, ainsi que nous venons de le faire remarquer, ils n'en ont que plus de chances d'être exacts, lorsque les circonstances dans lesquelles l'inondation se repro-

duit sont les mêmes.

mètre par mètre pour les hauteurs suffisent, pour la recherche dont nous nous occupons à présent).

On trouve, dans deux courbes voisines d'une même crue, une similitude qui permet d'apprécier la vitesse de translation de l'onde, à très peu près. Pour rendre cette appréciation à la fois plus facile et plus sûre, on superpose à l'aide de calques les courbes les unes sur les autres, tantôt en allant de l'aval à l'amont, tantôt de l'amont à l'aval, et l'on constate la différence des abscisses, c'est-à-dire des temps, qui résulte d'une coïncidence aussi complète que possible des courbes. On a ainsi la marche de la crue en temps, et cette méthode nous paraît beaucoup plus sure que la comparaison (qui se fait habituellement) des heures du maximum. L'heure du maximum est en effet d'une appréciation très difficile pour l'observateur, parce que ce maximum est accompagné fréquemment d'un étale assez long; pendant cet étale, où l'onde principale demeure horizontale, mille causes insignifiantes déterminent des variations locales ou temporaires qu'il ne faut pas confondre avec le phénomène général; c'est la rupture d'une digue, l'arrivée d'un petit affluent à peu de distance du lieu d'observation; c'est le clapotis que le vent soulève sur la nappe d'inondation, etc.; en un mot, ce sont des modifications secondaires qu'il est indispensable de laisser de côté quand on veut bien juger du phénomène d'ensemble, et les courbes à petite échelle y conduisent naturellement.

Avec elles, donc, on constatera le temps que met chaque crue à se transporter d'un point à un autre de la même vallée, et l'on trouvera probablement une uniformité de marche plus grande qu'on ne pourrait le supposer au premier abord.

Ainsi la Loire, entre Roanne et Nevers, offre une vitesse de propagation comprise entre 4 et 6 kilomètres à l'heure, suivant que les crues sont grandes ou moyennes (30 à 45 heures pour 184 kilomètres). En général, les grandes crues sont les plus rapides, sans que cette loi soit absolue.

Du bec d'Allier à Châtillon-sur-Loire, c'est-à-dire sur 84 kilomètres sans affluent, la vitesse de propagation a paru constante et représente pour les crues grandes ou petites un temps total de 18 heures, soit 4 kil. 42 par heure.

Sur l'Allier, au-dessous de Vichy, la grande crue de 1866 marchait à raison de 5 kilomètres à l'heure, tandis que la crue moins forte d'octobre 1872 n'atteignait que 3 kil. 20.

Sur la Marne, entre la Chaussée (département de la Marne) et Meaux, la vitesse a été de 2 kil. 63 en 1872, 2 kil. 97 en 1876, 2 kil. 74 et 3 kil. 30 en 1877.

Du même point de départ à Paris, la même rivière a transmis son flot en 86 heures pour la crue la plus rapide depuis 8 ans, et en 102 heures pour la crue la plus lente (3 kil. 10 et 2 kil. 60 à l'heure).

L'écart n'est donc pas immense; et il est possible, on le voit, de se rendre compte approximativement de la vitesse de propagation d'une crue, étant donné qu'on borne ses recherches aux crues qui font sortir les rivières de leur lit. Audessous de cette intensité, les phénomènes locaux prennent une prépondérance telle que l'on n'a plus une onde générale, mais une succession de petites ondes dont l'étude compliquée offrirait certainement un grand intérêt scientifique, mais n'a pas la même importance pratique.

La marche ainsi déterminée en temps, on compare les maxima en hauteur, et quand aucun affluent considérable ou aucun grave changement de régime ne fait sentir son influence entre deux points d'observation, les deux hauteurs correspondantes demeurent unies par une loi simple. Ainsi six crues observées depuis 1872 sur la Marne, entre la Chaussée et Damery, ont montré que la hauteur dans la seconde de ces localités était égale à la hauteur dans la première multipliée par un coefficient compris entre 1,497 et 1,250.

peut ainsi, dans chaque vallée envisagée seule, se faire idée, non pas exacte, mais approximative de l'intensité probable d'une crue qui s'annonce, et du temps qu'elle mettra à atteindre un point déterminé. On ne perdra pas de vue, tont esois, que nous ne parlons ici que des crues entraînant debordement.

298. Étude du cours d'eau principal. — Quand on rencontre de grands affluents, l'étude devient plus difficile; néanmoins elle peut se faire sur des bases assez rationnelles, si elle a été précédée de l'étude des affluents.

Parmi les courbes hydrométriques de ces derniers, on choisit celles qui sont placées sur un périmètre tel que les eaux mettent à peu près le même temps (trente-six heures par exemple) à parcourir la distance qui les sépare du point de réunion que l'on veut envisager. On a alors, à un instant donné, les diverses hauteurs composantes qui doivent, trente-

six heures après, former la hauteur résultante.

On affecte alors chaque hauteur composante d'un coefficier qui doit représenter sa part d'influence dans la hauteur résu tante; ce coefficient se détermine par tâtonnement, en ét diant chaque inondation dont on a les éléments. On pred'ailleurs, le point de départ le plus rationnel que l'on pe ce sera par exemple la totalité du bassin de chaque co d'eau, si tous les bassins sont à peu près dans les mêr conditions au point de vue de la perméabilité; ce sera la s face des terrains imperméables dans chaque bassin, si étendues importantes sont très perméables; on s'efforcera, un mot, d'adopter les bases qui ont le plus de chances d'é vraies et on les corrigera empiriquement à chaque inondati 🛹 pour les amener à satisfaire le mieux possible à la moyer? des cas observés. C'est ainsi qu'envisageant à la fois la Loi supérieure à Digoin, la Bèbre à Dompierre, l'Aron à Roche l'Allier à Vichy, la Sioule à Ébreuil, et multipliant la hauteusimultanée de chacun de ces cours d'eau à un moment donné, chacune par un coefficient fixe, nous étions arrivé à former une courbe hydrométrique future, de prévision, qui ne s'écartait pas trop de la réalité constatée ensuite; de vingt-quatre à trente-six heures après, au Bec-d'Allier.

La prévision de la cote au Bec-d'Allier servait à fournir celle de Châtillon-sur-Loire, limite de notre service, dix-huit à vingt heures après; en sorte que dans cette contrée, où la Loire développe d'habitude son onde la plus forte en temps de débordement, les avertissements pouvaient parvenir deux jours à l'avance, ce qui est un immense avantage.

On serait heureux de pouvoir donner une marche moins hésitante, mais les recherches en matière de prévision sont encore à l'état de conjecture, et nous devons nous borner à indiquer une voie que des essais nombreux nous font regarder comme bonne. Avec le temps, avec des observations suivies, chacun travaillant non seulement pour soi, mais pour ses successeurs, il est vraisemblable qu'on arrivera à des annonces tout à fait dignes de confiance et qui seraient largement suffisantes, qu'on ne le perde pas de vue, le jour où elles se vérifieraient à une trentaine de centimètres près.

299. Emploi des courbes. — Il nous reste une recommandation à faire, c'est que le phénomène s'étudie toujours mon sur les cotes elles-mêmes, qui ont été transmises à un moment donné, mais sur les courbes construites avec ces cotes. Au travers d'observations nombreuses, précipitées, faites par des agents dont on n'est pas toujours sûr, il se glisse souvent des erreurs que les courbes aident à retrouver. Elles dénoncent encore parfois, par des anomalies, les accidents qui ont pesé temporairement sur le phénomène général, et qui sans elles auraient pu fausser les conclusions. Enfin la régularité de ces courbes, en dehors des accidents, est telle que les changements de courbure sont une aide puissante pour pressentir la marche de l'inondation.

Pour ce dernier genre de recherche, une échelle un peu plus forte est utile, surtout sur les rivières à crues rapides. On doit s'attacher, en outre, à ce que l'échelle des temps soit à celle des hauteurs dans une proportion telle que l'inclinaison moyenne de la courbe soit voisine de 45°; l'œil juge alors beaucoup mieux. Sur la Loire l'échelle qui nous avait semblé préférable était de 5 centimètres par mêtre pour les hauteurs et de 5 ou 6 centimètres par jour pour les abscisses; nous croyons devoir consigner ici ces détails, parce qu'en semblable matière, où l'induction est en quelque sorte de sentiment, la représentation graphique de l'étude prend une importance qu'elle n'aurait pas ailleurs.

300. Procédé de prévision par l'observation de la pluie tombée. — La méthode de prévision que nous venons d'indiquer est d'autant plus facile à appliquer que la contrée à

#### 282 CHAPITRE XI. PRÉVISION ET ANNONCE DES INONDATIONS

avertir est plus éloignée de la source du cours d'eau. Grâce aux chemins de fer et aux télégraphes, chaque crue qui naît dans le haut de la vallée peut être suivie dans sa marche et observée à distance; de plus, à mesure que le flot principal grossit, les affluents successifs le troublent de moins en moins, en sorte que les prévisions peuvent arriver longtemps à l'avance et être assez sûres.

Il n'en est plus de même dans le haut des vallées. Les communications y sont d'ordinaire moins rapides, les pentes beaucoup plus fortes, les perturbations plus sensibles, en sorte que la prévision basée sur l'observation des cours d'eau est exposée, pour peu que des retards se soient produits, à n'arriver qu'avec la crue.

301. Avantage de ce procédé pour le haut des vallées. — Il y aurait donc grand avantage à prévoir, ne fût-ce que d'une manière encore moins précise, les inondations, par la quantité d'eau tombée, telle que la donnent les udomètres. On gagnerait ainsi le temps que les eaux pluviales emploient à se rendre au thalweg, et ce serait un tel bénéfice, au moins pour la partie haute des vallées, que nous ne pouvons nous dispenser de signaler ce point aux recherches des ingénieurs. La chose serait impossible si elle devait s'appliquer à toutes les crues, en raison de la variation des facultés absorbantes du sol; mais réduite aux périodes de débordement, nous la croyons susceptible de solution.

Voici comment on peut procéder dans cet ordre d'idées.

302. Évaluation de la pluie moyenne. — On se rend compte par les renseignements udométriques de la quantité d'eau tombée moyennement dans la vallée en amont du point auquel se rapportera la prévision. On partage, pour y arriver, ce bassin en un certain nombre de régions de superficie connue, contenant un ou plusieurs udomètres, et l'on en déduit la quantité moyenne d'eau tombée chaque jour, pendant la période pluvieuse qui donne naissance à la crue. Sur ces données, on trace une courbe dont les abscisses sont les temps et les ordonnées ces quantités moyennes de pluie.

En regard on place la courbe hydrométrique du cours d'eau au point où la prévision est utile, et l'on compare les ondulations des deux courbes; la comparaison est d'ailleurs rendue plus facile par un choix judicieux d'échelles.

SEOS. Écart en temps entre la chute d'eau et le maximum de la crue. — Le centre de figure de chaque ondulation qui représente la pluie et le maximum de chaque ondulation caractérisant la crue, sont séparés par une distance horizontale assez constante pour chaque cours d'eau : L'écart est précisément le temps qu'a mis l'inondation à atteindre son maximum, à partir du centre de la période pluvieuse enviseée.

204. Rapport de la chute d'eau au maximum de la crue. — En comparant, d'ailleurs, la quantité d'eau tombée pendant chaque période pluvieuse avec le maximum de la crue correspondante, on a l'autre élément de la prévision, c'est-à-dire la hauteur à craindre pour une chute d'eau déterminée.

Assurément, on ne doit pas compter dans ces conditions sur une prévision certaine; mais on peut annoncer deux jours plus tôt que le flot qui menace sera grand ou moyen, ce qui est déjà beaucoup; on peut même aller plus loin, parce que, comme nous le disions plus haut, si l'on se restreint aux débordements le phénomène des crues se simplifie en s'agrandissant. Les inondations, sous nos climats, sont rarement le résultat de pluies locales; elles proviennent d'une précipitation notable sur le bassin, et il s'ensuit une reproduction des mêmes circonstances, reproduction que l'on ne rencontre pas dans l'étude des petites crues. Un exemple pourra faire comprendre le parti qu'il est possible de tirer d'une étude de ce genre.

305. Application faite à la vallée de la Loire audessus du Bec-d'Allier. — Dans la vallée de la Loire, par les procédés que nous venons d'indiquer, nous avons cru reconnaître les faits suivants, applicables au Bec-d'Allier seul.

Les débordements sont déterminés en général par les pluies de trois jours consécutifs.

Le maximum de la crue au Bec-d'Allier apparaît de cin-

#### 284 CHAPITRE XI. PRÉVISION ET ANNONCE DES INONDATIONS

quante-huit à soixante heures après le moment qui peut être considéré comme le centre de la période pluvieuse occasionnant chaque onde dans la partie supérieure de la vallée.

Le rapport de la hauteur de la crue à la quantité d'eau tombée est à peu près la suivante, une fois que les terrains

sont imprégnés d'eau :

12 millimètres par jour, pendant trois jours consécutifs, amènent la Loire à remplir son lit, c'est-à-dire à un état voisin du débordement.

20 millimètres par jour, pendant 3 jours consécutifs, donnent une crue de 4<sup>m</sup>,30 au-dessus de l'étiage.

35 millimètres par jour, pendant 3 jours consécutifs, donnent une grande inondation comme celle de 1866 (5<sup>m</sup>,40 au-dessus de l'étiage).

Traduits en courbes, ces divers résultats fournissent une sorte de parabole à l'aide de laquelle les prévisions pourront s'établir ou se modifier, suivant ce que l'avenir apprendra.

Nous les citons, non comme acquis, mais comme pouvant au contraire servir de point de départ à une étude dont l'intérêt ne saurait échapper à personne.

306. Différence à faire entre la pluie effective et la pluie totale. Évaluation de la pluie absorbée. — Nous venons de citer le rapport présumé de la hauteur de la crue, non à la hauteur d'eau tombée, en réalité, mais à la pluie effective, c'est-à-dire celle qui a lieu une fois les terrains imprégnés d'eau. Il y a là un inconnu que nous devons dégager, pour être complet, car les renseignements udométriques qui parviennent à l'ingénieur en font abstraction.

L'absorption des eaux de pluie par le sol varie dans la plus large mesure, avec la saison, avec le temps que dure la chute d'eau, avec les pentes des versants, avec les réservoirs naturels ou artificiels que le pays présente, etc., en un mot avec mille causes qu'il est à peu près impossible d'évaluer. Si donc on veut se rendre compte de cette absorption, ce n'est pas aux causes qu'il faut s'adresser, mais à leur effet combiné, c'est-à-dire à l'état du cours d'eau lui-même; celui-ci est en effet d'autant plus faible que les terrains sont plus altérés, et

il est naturel de recourir à son niveau pour juger de la saturation de la vallée; l'étude comparative des faibles crues et des données udométriques correspondantes permettra de constater les quantités de pluie qui passent inaperçues ainsi que celles qui agissent sur le cours d'eau, et on en déduira à peu près la chute d'eau correspondant à la saturation pour une hauteur hydrométrique déterminée.

Dans la vallée de la Loire, pour le Bec-d'Allier qui constituait un point d'importance extrême au point de vue des prévisions, nous avions été amené à croire que le sol était à saturation quand le niveau du cours d'eau était à 1<sup>m</sup>,30 au-dessus de l'étiage, et qu'au contraire, lorsque l'étiage régnait, il fallait environ 40 millimètres pour amener la saturation, soit 39 pour simplifier les calculs. Admettant une proportionnalité que rien ne prouve, mais qui est assez vraisemblable pour l'approximation que nous cherchions, nous prenions pour la quantité de pluie effective, c'est-à-dire produisant la crue, celle que fournissaient les udomètres diminuée d'un nombre de millimètres donné par la formule  $\frac{(1.30-h)\times 39}{1.30}$ , ou  $30\times (1.30-h)$ . En effet: pour h=0, il faut 39 millimètres pour la saturation. tandis que celle-ci est complète pour h = 1.30. Ici toutefois les 39 millimètres destinés à la saturation peuvent être tombés en tout ou en partie avant la période de trois jours qui a été la cause déterminante de la crue, et il faut remonter un peu au delà de ces trois jours, si c'est nécessaire. Un exemple nous fera comprendre.

La crue d'octobre 1872 a été causée par une chute d'eau de 58 millimètres qui a eu lieu le 48, le 19 et le 20.

Le 18, la cote de la Loire était de  $0^m$ , 90 au-dessus de l'étiage; le nombre de millim. à retrancher était de  $30 \times (1.30 - 0.90)$ , ou 12.

Mais il était déjà tombé, le 15, le 16 et le 17, 10 millimètres d'eau, qui avaient diminué d'autant la quantité nécessaire à la saturation des terres, et il ne restait plus à retrancher que 2 millimètres du total fourni par les udomètres pour la période de trois jours.

La crue d'octobre 1872 correspond donc à une pluie effec-

tive de 56 millimètres d'eau en trois jours, ou de 19 millimètres en moyenne par jour pendant trois jours. Sa hauteur a été de 4<sup>n</sup>,25 au-dessus de l'étiage.

307. Avantages de ces recherches. — Nous concluens de cet exposé que l'on peut, soit par ce procédé, soit par tout autre, tenir compte de toutes les données du problème, sinon d'une manière rigoureuse, au moins approximativement. On gagnera ainsi un ou deux jours pour un premier avertissement auquel la précision est inutile, mais dont la diffusion peut être précieuse, en raison des préparatifs qu'exigent les sauvetages.

Ajoutons qu'en employant l'un et l'autre système, concurremment, on a un moyen de contrôle et une plus grande chance de vérité quand les résultats sont concordants.

308. Choix à faire dans les observatoires. - La base des recherches dont nous venons de parler est dans les observations udométriques et hydrométriques, qu'il est bon de multiplier, autant que les ressources le permettent, afin d'avoir des moyens de contrôle nombreux. Mais parmi tous les observatoires, nous pensons qu'il faut faire un choix judicieux. pour le dépouillement au moment où le danger commence, car alors, d'habitude, le temps presse, et les opérations doivent être simples et rapides. On choisira les stations dont le personnel est le plus sûr, auxquelles on est relié par les communications les plus faciles, avec cette condition qu'elles soient uniformément réparties sur le pays, au point de vue géographique; ce sont ces stations qui fourniront toujours les données auxquelles on aura recours pour les prévisions, afin que les déductions soient comparables entre elles. Quant aux autres stations, elles serviront simplement à contrôler les observations principales et à expliquer les anomalies si nombreuses que présente la météorologie. Les faire entrer en ligne de compte en temps de crue serait s'exposer à des inconvénients sans nombre, eu égard au peu de temps dont on dispose.

309. Fonctionnement intermittent des observations.

— Il est tout à fait inutile, d'ailleurs, de faire fonctionner constamment télégraphes et courriers, udomètres et échelles, pendant toute l'année comme au moment du danger. Il suffit que l'organisation soit telle qu'au premier signal, les renseignements puissent converger vers le point où se rédigent les prévisions, d'une façon aussi prompte et aussi directe que possible. On assurera ce résultat par une très minime prime assurée en temps de crue à chaque observateur qui aura régulièrement suivi ses instructions.

310. Signes précurseurs des inondations. - Quant au signal lui-même, il faut qu'il soit donné par le fonctionnaire qui est chargé des prévisions, aussitôt qu'il juge que les circonstances peuvent devenir graves. Il se guidera par certains indices météorologiques que l'expérience a révélés, et qui n'échappent pas aux hommes du pays que leurs fonctions intéressent à ces recherches. Ainsi, sur la Loire supérieure, ce sont toujours les vents du sud ou du sud-est qui amènent les inondations; les vents d'ouest et de sud-ouest, bien que pluvieux, ne donnent jamais une précipitation assez abondante pour entraîner une grande crue. Les vents du sud et du sudest ne sont réellement dangereux que quand le vent du nord se fait sentir en même temps, et produit un refroidissement général avec une pluie simultanée sur tout le bassin. Une observation populaire nous a amené à le constater : Les inondations de la Loire ont toujours, dit-on, leur maximum par un très beau temps; 1846, 1856, 1866 et 1872 ont en effet vérifié cette loi empirique. Or, ceci s'est expliqué pour nous en dépouillant les observations météorologiques relatives à ces crues. Nous avons remarqué qu'au début de la pluie le vent était partout au sud, qu'ensuite les girouettes s'affolaient et constataient l'arrivée d'un courant incertain du nord, lequel finissait par devenir dominant et faisait succéder le beau temps à la précipitation abondante des journées antérieures. Quand donc, dans la vallée de la Loire, avec une pluie venant du sud on recueille des indices de vent du nord sur quelques points, quand en outre les udomètres locaux annoncent une

#### 288 CHAPITRE XI. PRÉVISION ET ANNONCE DES INONDATIONS

chute d'eau qui dépasse dix millimètres, il est sage de faire fonctionner le système des avertissements.

Nous ne doutons pas que chaque pays ait des remarques analogues; quand on est à la recherche de lois purement empiriques, il faut faire la part très large aux données expérimentales que l'on recueille, quelque inexplicables qu'elles puissent paraître.

### § II

## ANNONCE DES INONDATIONS.

311. Initiative à prendre en matière d'avertissements. — Il ne suffit pas toutefois de prévoir, il faut encore avertir les intéressés, et faire parvenir l'avertissement à temps dans des conditions telles qu'il leur inspire confiance. C'est moins simple qu'on ne pourrait le croire au premier aborditous ceux qui ont cette responsabilité agiront prudemment en prenant l'initiative des renseignements s'ils veulent éviter des questions répétées de jour et de nuit. Ils s'efforceront en outre que leurs prévisions se répandent avec le moins d'intermédiaires possible, parce qu'avec les meilleures intentions, les intermédiaires, surtout s'ils sont nombreux, arrivent à dénaturer complètement le sens de ce qu'ils devaient simplement transmettre.

Nous indiquerons dans cet ordre d'idées ce qui nous a semblé être, au point de vue pratique, la marche la plus commode et la plus sûre.

312. Les avertissements ne doivent pas être trop précis. — La science météorologique n'est pas assez avancée pour que les prévisions, en matière de crue, ne soient pas sujettes à erreur; les progrès de cette science ont été assez rapides pour que l'on ait le droit de faire cet aveu; il ne fant pas hésiter à le reconnaître dans les renseignements livrés au public, en évitant soigneusement l'apparence de la précision

dans les avertissements. On vous sait gré d'une prévision vague que l'événement justifie, tandis qu'on vous blâme d'une indication précise qui n'est qu'approchée. Quant au but que l'on poursuit, il est mieux atteint dans le premier cas que dans le second, puisque le premier permet d'indiquer des limites de temps et de hauteur qui font la part de l'exagération nécessaire en pareil cas, sans diminuer la confiance que l'on peut avoir dans les prévisions.

313. Degré de fréquence des avertissements. Il faut, ainsi que nous l'avons dit plus haut, que les avertissements soient assez répétés pour éviter l'impatience, et assez rares pour attirer l'attention. Notre propre expérience nous a amené à reconnaître que la curiosité publique était très convenablement desservie avec l'émission de deux prévisions par jour, embrassant chacune au moins vingt-quatre heures, de manière à ce que chaque prévision confirme ou rectifie celle qui précède avant que le terme assigné à celle-ci soit arrivé. Avec cette manière de procéder, et un choix d'heures tel que les riverains puissent apprendre dans la matinée les probabilités jusqu'au lendemain matin au moins, puis dans la soirée, soit les changements survenus, soit l'absence de changements jusqu'au lendemain soir, le public se tranquillise. Sûr qu'on ne l'oublie pas, il ne se laisse pas aller aux bruits exagérés ou même faux, qu'il accueille avidement en l'absence de nouvelles récentes et officielles.

314. Mode de transmission des avertissements. — La régularité et la fréquence dont nous cherchons à établir l'utilité en matière de prévisions nous semblent devoir être difficilement atteintes, quand l'Administration prend à sa charge, par la voie hiérarchique, la transmission des avis jusqu'aux riverains. En somme, ceux-ci sont les principaux intéressés; ils cherchent le plus souvent à se renseigner par eux-mêmes, et il suffit qu'ils sachent où ils trouveront les avis à leur portée, pour qu'ils devancent la transmission officielle, toujours un peu gênée dans les moments de crise par la simultanéité des mesures à prendre.

19

#### 200 CHAPITRE XI, PREVISION ET ANNONCE DES INONDATIONS

Le procédé le plus simple et, croyons-nous, le plus efficace. est l'envoi par des trains déterminés d'une simple note écrite ou autographiée aux chefs de gare de chacune des stations du chemin de fer le plus voisin du cours d'eau, avec prière de l'afficher dans la cour d'arrivée. Ce mode de publicité remplit complètement le but, car il est peu de vallées de quelque importance qui ne soient aujourd'hui longées par un chemin de fer. MM. les maires peuvent envoyer prendre à heure fixe tous les renseignements; les intéressés en font autant s'ils en sentent le besoin, et les nombreuses entreprises de transport qui fréquentent les gares sont le plus sûr moyen de diffusion des avis. Nous ajouterons même, sans nous charger d'en expliquer le motif, que c'est la meilleure manière de présenter les avis au public. Un renseignement que l'on va chercher soi-même a plus de poids que celui qui est offert : Il a plus d'authenticité dans tous les cas, puisque chacun le voit de ses yeux et n'a pas à compter avec les interprétations des intermédiaires, interprétations dont on ne saurait se figurer l'abus sans en avoir fait l'épreuve, et auxquelles ne prête que trop le style télégraphique.

Ajoutons que cette marche ne ferait nullement obstacle à ce que des avis analogues fussent directement adressés soit télégraphiquement, soit par la poste, aux préfets, aux sous-préfets et aux maires des villes principales. On y gagnerait même, à ce point de vue; jusqu'au moment de l'envoi, les fils se trouveraient exonérés de tous les avis destinés aux communes rurales.

Nous ne sortirons pas de notre sujet, ni de l'ordre d'idées dans lequel nous sommes, en disant que pour ces échanges de nouvelles et de prévisions l'usage du télégraphe est très loin d'être indispensable. Avec le réseau de chemins de fer dont nous disposons et l'organisation du service des postes, il est rare que l'on ne puisse pas avoir tous les matins par la poste des nouvelles détaillées de tous les observatoires de la vallée, jusqu'à la veille au soir. On peut donc, dès le matin, lancer par le chemin de fer une prévision qui parviendra de honne heure dans les localités voisines, avec une avance suffisante.

Quant aux télégrammes du matin même, il est rare que l'on



### § II. ANNONCE DES INONDATIONS

291

puisse les recevoir tous avant midi, tant à raison des heures d'ouverture des petits bureaux qu'à cause de l'encombrement des lignes, encombrement qui devient excessif quand les nouvelles s'attardent. Ils ne peuvent servir par suite qu'à l'avertissement du soir, qui confirmera ou rectifiera ce qu'on a dit le matin; mais qui n'aura pas la même utilité immédiate, la journée étant près de finir.



# QUATRIÈME PARTIE

# DES BARRAGES

CHAPITRE DOUZIÈME : CONSIDERATIONS GÉNÉRALES BARRAGES FIXES

CHAPITRE TREIZIÈME : BARRAGES A PARTIES MOBILES SOUTENUES PAR DES APPUIS FIXES

CHAPITRE QUATORZIÈME : BARRAGES POIRÉE

CHAPITRE QUINZIÈME : BARRAGES A BIDEAUX SOUTENUS PAR DES PARTIES MOBILES SUSPENDUES A UNE POUTRE SUPÉRIEURE

CHAPITRE SEIZIÈME : BARRAGES A VANNES TOURNANTES ARC-BOUTÉES SUR LE RADIER

CHAPITRE DIX-SEPTIÈME : BARRAGES A APPAREILS MOBILES MUS PAR LA CHUTE ELLE-MÉME, ET AUTRES

CHAPITRE DIX-HUITIÈME : UTILISATION DES DIVERS SYSTÈMES DE BARRAGES MOBILES



.

•

### CHAPITRE XII

# CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES BARRAGES FIXES

#### SOMMAIRE :

§ 1<sup>st</sup>. Considérations générales: 315. Rivières canalisées. Remous. — 316. Circonstances dont il faut tenir compte dans l'établissement des barrages. — 311. Emplacements généralement choisis. — 318, Pièces sur lesquelles se fait l'étude. — 319. Espacement des barrages. 2 2. Barrages fixes: 320. Barrages fixes. — 321. Barrages à paroi verticale. — 322. Barrages à parois courbes. 323. Barrages de l'Oise. — 324. Tourbillon formé par ces barrages; moyen de le combattre. — 325. Pertuis et écluses.

#### Figures :

Burrage à paroi verticale, art. 321. — Affouillements; deux figures, art. 321. — Barrage en pierres sèches et charpente, art. 321. — Barrage à paroi courbe, art. 322. — Barrage en doucine, art. 322. — Tourbillon, art. 324.

Petite planche :

Barrage de l'Oise, art. 323.

### CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

315. Rivières canalisées. - Lorsqu'un cours d'eau, par sa pente, par son volume, par la disposition de son lit, ou par toute autre cause, se présente dans des conditions telles qu'on ne peut pas espérer approprier son régime naturel aux besoins de la navigation, on est conduit à modifier ce régime. Le procédé aujourd'hui usité est la construction de barrages, de distance en distance, lesquels fermant le lit jusqu'à une certaine hauteur augmentent le mouillage et diminuent la vitesse, ce qui est un double avantage pour les bateaux; la rivière est dite alors canalisée.

Sauf dans le voisinage de la mer, il est très peu de rivières en France qu'on ne soit forcé de canaliser, si l'on veut répondre aux besoins de la batellerie en général; les rapides, les hautsfonds, les déplacements du lit, peuvent être bravés dans une
certaine mesure par un trafic local qui y est habitué de vieille
date, et s'est organisé en conséquence; mais la gêne serait
inadmissible pour les bateaux qui fréquentent les canaux ou
les cours d'eau plus favorisés, en sorte que la canalisation des
rivières s'impose si l'on veut arriver à la constitution d'un
réseau général de navigation. Ajoutons que l'atténuation de
vitesse qui en résulte favorise la navigation ascendante,
presque toujours sacrifiée sur les cours d'eau à pente un peu
accentuée.

Avant d'étudier les barrages en eux-mêmes nous nous occuperons des effets généraux qu'ils sont appelés à produire et de leur distribution sur la ligne navigable.

A l'étiage, le barrage sera un déversoir ordinaire sur lequel s'effectuera l'écoulement des eaux par une nappe de hauteur déterminée, une fois qu'on se sera donné la largeur de l'ou-

vrage ou réciproquement.

En grandes eaux, le barrage sera un déversoir noyé sur ses deux faces; la hauteur d'eau à l'aval sera donnée par l'état ancien du cours d'eau, la hauteur à l'amont par le niveau que la retenue ne doit pas dépasser. Quant à la saillie des ouvrages fixes sur le lit et à leur longueur, elles constitueront les deux inconnues du problème; on les déterminera par tâtonnement en faisant une hypothèse sur l'une, et en déduisant l'autre de la formule (voir les traités d'hydraulique).

Remous. — Enfin en ce qui concerne le remous, on a des méthodes de calcul qui sont, il est vrai, d'une application moins sûre, mais auxquelles il est possible encore d'avoir recours. On se contente souvent, pour l'appréciation de ce remous, de l'hypothèse suivante, admise par M. l'inspecteur général Poirée: La ligne d'eau, dans l'amplitude du remous, peut être assimilée à une parabole dont l'axe serait vertical, dont le sommet serait à l'emplacement du barrage, tandis que l'extrémité de la courbe serait tangente à la pente moyenne du cours d'eau. En appelant h la hauteur du barrage et i la pente du cours d'eau, l'équation de cette parabole serait  $x^* = \frac{4h}{\pi}y$ .

De cette équation on peut déduire le remous en un point quelconque; il résulterait de la même hypothèse que ce remous ne se ferait plus sentir au delà de la distance  $\frac{2h}{i}$ , ce qui ne paraît pas se vérifier. Il est probable que le remous s'étend plus loin et, dès lors, son action doit être plus considérable que ne l'indique la formule, à quelque distance du barrage.

On considérera donc les données fournies par cette formule comme un minimum au-dessus duquel il est sage de conserver une revanche à peu près égale, et on ne l'appliquera d'ailleurs

qu'en cas de grandes eaux.

Pour l'étiage, afin de ne pas avoir de mécomptes, on admettra que la surface des eaux est un plan horizontal passant par le sommet du barrage, c'est-à-dire que le remous est nul, et c'est sur cette double hypothèse que les retenues successives devront être combinées.

316. Circonstances dont il faut tenir compte dans l'établissement des barrages. — Cette étude demande d'ailleurs les plus grands soins.

Chaque retenue doit être assez élevée pour fournir à l'aval de la retenue supérieure et sur les hauts-fonds intermédiaires le mouillage nécessaire à la navigation, c'est-à-dire une profondeur d'eau supérieure de 0<sup>m</sup>,20 à 0<sup>m</sup>,30 au tirant d'eau des

plus forts bateaux que la rivière recevra.

Elle ne devra cependant pas être assez haute pour noyer les rives; ce serait s'exposer, si la submersion avait quelque étendue, à des procès pleins de dangers, les tribunaux considérant ce genre de dommages comme une dépossession. C'est en vain, d'ailleurs, qu'on chercherait à éviter ce dommage par la création de digues; les digues, le long des cours d'eau, sont en général une protection plus apparente que réelle, et il vaut mieux éviter le litige que d'avoir recours à ce moyen illusoire.

Il faut tenir compte de la position des usines établies sur le cours d'eau ou sur ses affluents, dans l'amplitude du remous que l'on se propose de créer. Chaque relèvement du plan d'eau est pour elles une perte de force motrice qu'elles font payer

fort cher.

298 CH. XII. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES. BARRAGES FIXES

Il faut encore rechercher si ce remous ne rapprochera pas trop le niveau de l'eau de l'intrados des ponts du voisinage, s'il ne gênera pas l'écoulement des eaux d'égout ou l'usage des servitudes qui peuvent exister dans chaque hief, etc., etc.

- 317. Emplacements généralement choisis. On est conduit généralement à placer les retenues un peu en aval des principaux hauts-fonds. Cette position est assez élevée pour leur permettre de noyer le haut-fond voisin de toute l'amplitude de la retenue, en même temps qu'assez basse pour maintenir un bon mouillage en tête du bief d'aval. Ajoutons que les hauts-fonds sont formés ordinairement de bancs plus solides que le reste du sol, en sorte que les ouvrages y trouvent une meilleure fondation.
- 318. Pièces sur lesquelles on fait l'étude. L'étude se fait d'habitude sur un profil en long fournissant le niveau du chenal, celui des rives, des ponts, des usines, des égouts, etc-On procède par tâtonnements en s'aidant des profils en travers et du plan; car ce que l'on doit appeler le chenal n'est pas la ligne du thalweg, mais un espace large de 25 à 30 mètres sans sinuosité trop prononcée, dans lequel le mouillage n'est nulle part inférieur à celui qu'on s'est imposé. Ce n'est que quand ces diverses pièces consultées ont attesté la valeur de la combinaison, qu'il est possible de l'admettre.
- 319. Espacement des barrages. On s'est demandé souvent s'il était avantageux de diminuer le nombre des barrages et d'augmenter leur hauteur, ou s'il convenait au contraire de les multiplier et de rendre les biefs plus courts. Envisagée seule, la question est difficile à résoudre, car les deux manières de faire ont leurs avantages et leurs inconvénients.

De longs biefs sont très avantageux à la navigation, puisqu'ils lui évitent un retard au passage des écluses; en outre, le prix des barrages ne croît pas comme leur hauteur, et, sous ce double rapport, il y a avantage à diminuer le nombre des barrages et à les faire plus hauts.

Mais, d'autre part, les barrages à grande chute sont d'une

manœuvre plus difficile que les autres; les accidents qui leur surviennent ont des conséquences plus graves sous tous les rapports, et ils y sont plus exposés. Enfin, et cette considération n'a peut-être pas toujours pesé d'un poids suffisant, ce n'est jamais impunément qu'on change le régime naturel d'un cours d'eau. Il s'est fait, entre les dépôts et les entraînements de matières, un état d'équilibre qu'on trouble brusquement; on le trouble d'autant plus que les retenues sont plus fortes, et cette modification ne peut que donner naissance à des hautsfonds, qu'il faut enlever artificiellement si l'on veut demeurer dans les conditions initiales.

Nous pensons, en conséquence, que pour une navigation très active, sur une ligne où le personnel ne fait pas défaut pour les manœuvres, où les machines à draguer fonctionnent fréquemment, les grandes retenues peuvent être avantageuses. Mais que sur un cours d'eau à fréquentation moyenne, où le trafic ne justifierait pas un très grand développement de moyens d'action, où le personnel serait rare, il vaudrait mieux acepter un léger sacrifice de temps pour éviter les surprises et les chômages accidentels qui ont chance d'accompagner les grandes retenues.

Ces considérations générales exposées, nous aborderons l'étude des barrages. Nous passerons en revue les divers types de ce genre d'ouvrages, qui peuvent se classer comme il suit:

Barrages fixes;

Barrages à parties mobiles soutenues par des appuis fixes; Barrages à parties mobiles soutenues par des appareils mobiles eux-mêmes et indépendants des premiers;

Barrages à vannes tournantes et arc-houtées sur le radier

formant un système complet et solidaire;

Barrages à appareils mobiles mus par la chute elle-même. Nous apprécierons ensuite les besoins divers d'une retenue d'eau destinée à la navigation, ainsi que les passes distinctes dont elle doit se composer.

Et nous terminerons en discutant le choix à faire parmi les divers types de fermeture pour le meilleur fonctionnement, suivant les circonstances, de ces diverses passes.

### § II

#### BARRAGES FIXES

320. Barrages fixes. — Les barrages fixes ont été seuls en usage pendant longtemps. On sait que l'influence d'un barrage sur l'écoulement des eaux d'une rivière s'affaiblit de plus en plus, à mesure que le débit de cette rivière augmente. Il résulte de ces ouvrages une diminution de section qui, effective lorsque les eaux sont resserrées dans leur lit le plus bas, peut disparaître à peu près complètement devant la section d'inondation.

Toutefois, il y a dans cette comparaison une question de mesure qu'on ne saurait perdre de vue. Tant que les barrages ont eu pour but de faire gagner aux cours d'eau quelques décimètres seulement, leur peu de relief, leur situation dans le voisinage des hauts-fonds, c'est-à-dire des rapides, ont rendu la proposition incontestable; le jour où il s'est agi d'obtenir des mouillages de 2<sup>m</sup>,20,2<sup>m</sup>,00 et même de 1<sup>m</sup>,60, une affirmation aussi nette n'était plus possible sur beaucoup de nos rivières, et les barrages mobiles ont remplacé les barrages fixes.

Nous passerons donc un peu rapidement sur les barrages fixes, mais nous ne pouvons nous dispenser d'entrer dans certains détails qui sont de nature à être utiles : d'abord parce que ces constructions peuvent recevoir encore des applications sur certains cours d'eau ; puis ensuite, parce que les barrages mobiles ont tous des parties fixes qui fonctionnent à de certains moments comme des barrages fixes.

Un mot d'abord sur leur position en rivière.

Influence de la position du barrage en rivière. — Si les formules de l'hydraulique sont exactes, le débit d'un barrage est proportionnel à sa longueur. Il en résulte que la position à assigner à un ouvrage de ce genre dans le lit d'une rivière influerait sur l'écoulement des eaux. Il ne serait pas indifférent, par exemple, de lui donner une direction normale ou oblique au courant, puisque la longueur ne serait pas la même.

M. l'inspecteur général Mary a fait des expériences sur une petite échelle, dans un canal rectangulaire qui débitait 133 litres par seconde. Il y a placé successivement quatre barrages: l'un normal au courant; les autres obliques partant d'un point d'une rive pour aboutir, sur la rive opposée, à une distance égale à la largeur du courant, à partir de l'extrémité de la normale, ou à deux ou à trois fois cette largeur. Les hauteurs de lame déversante ont varié sinon dans la mesure qu'exigeait la formule, au moins dans une proportion assez voisine pour affirmer l'avantage de l'obliquité, au point de vue de l'écoulement des eaux.

Toutefois, une grande obliquité ayant pour effet de rejeter le courant sur l'une des rives, M. Mary s'est demandé si un barrage en chevron ne présenterait pas les mêmes avantages qu'un barrage oblique de longueur identique, et il est résulté de ses expériences qu'il n'y avait pas de différence sensible. On admettra donc, toutes les fois que ce sera utile, le barrage en chevron, en ayant soin pourtant que l'angle ne soit pas trop prononcé, parce que les deux nappes, en se rencontrant pour ainsi dire face à face dans les eaux moyennes, formeraient une intumescence qui gênerait l'éco ulement sur le barrage même et pourrait accroître le remous en amont.

Il résulte de cette discussion — et ce fait n'est pas sans importance — qu'un barrage fixe peut avantageusement avoir un développement plus considérable que le lit de la rivière dans lequel il est placé<sup>1</sup>.

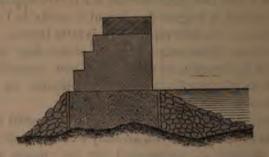
La position une fois arrêtée, en tenant compte des considérations qui précèdent, nous nous occuperons du mode de construction, en reproduisant les détails fournis sur ce sujet par M. Mary dans son cours.

321. Barrages à paroi verticale. — Les barrages fixes ont présenté deux types distincts, l'un à paroi verticale, l'autre à paroi inclinée.

<sup>1.</sup> Il ne faudrait pas attribuer à cette conclusion une confiance absolue. Des expériences récemment faites en Angleterre tendraient, paraît-il, à infirmer cette proportionnalité du débit à la longueur. Nous n'avons malheureusement aucun détail sur ces expériences, mais il semble bien difficile que a conclusion qu'on en a tirée ne se vérifie pas tout au moins pendant les crues de quelque importance.

#### 302 CH. XII. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES, BARRAGES FIXES

Les barrages à paroi verticale sont ordinairement formés d'un massif en maçonnerie, auquel on donne une épaisseur à peu près égale à la chute. Le parement d'aval est vertical, tandis que celui d'amont est disposé soit en talus, soit par re-



traites, de manière à augmenter son empatement et à rendre plus difficiles les filtrations sous les fondations. Dans le même but, on place en amont un remblai de terre argileuse, que l'on défend contre les corrosions en le recouvrant de moellons.

Fondations. — Les barrages qui ont été exécutés sur l'Isle, le Tarn et autres rivières du midi de la France ont été généraralement construits sur béton, immergé entre deux files de 
pieux et palplanches. Pour établir les fondations solidement, 
on drague assez profondément pour que le béton descende audessous du fond de la rivière. On enracine la construction et 
l'on défend, s'il y a lieu, le tour de la fouille par des enrochements. Si l'on trouve au contraire un sol inafouillable, on 
construit un caisson sans fond que l'on immerge et dans lequel 
on coule le béton. La crète du barrage est toujours en pierres 
de taille, afin de pouvoir résister au choc des corps entraînes 
par les eaux.

Danger des affouillements. — L'inconvénient le plus grave des barrages à paroi verticale tient à la difficulté de les défendre contre les affouillements auxquels ils sont exposés dans les eaux moyennes, lorsqu'un volume d'eau considérable, tombant avec une chute très marquée, forme un tourbillon à axe horizontal dont les effets sont extrèmement puissants.

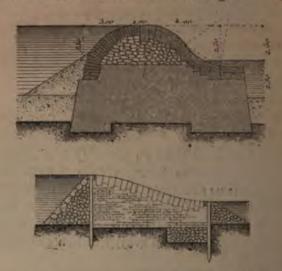
Pour y remédier, on a construit en aval de ces barrages des

304 CH. XII, CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES. BARRAGES FIXES

disposait la partie d'aval en gradins à l'aide d'un ou deux encoffrements adjacents au premier.

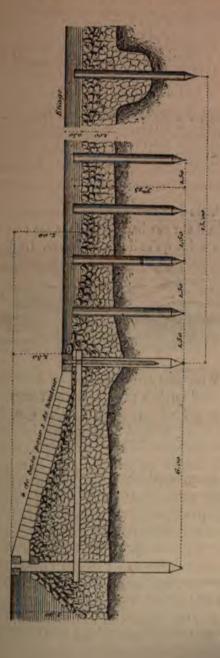
En général, l'expérience a prouvé que les barrages à paroi verticale ne s'appliquaient sûrement et économiquement que sur les points où le sol est inaffouillable.

322. Barrages à paroi courbe. — Dans les sols affouillables, on emploie des barrages à paroi inclinée; on a essayé de différentes formes : les uns avec sommet arrondi et paroi d'aval disposée en doucine, d'autres avec une simple doucine. Dans un cas comme dans l'autre le barrage en maçonnerie



donnait lieu à un appareil très dispendieux. En effet les pierres extérieures, présentant un parement vu plus grand que leur face opposée, résistent seulement par leur poids et par la liaison que le ciment établit entre elles, ce qui exige des joints taillés avec le plus grand soin. D'un autre côté, si des filtrations s'établissent sous la fondation, il se produit dans la maçonnerie des disjonctions que l'on ne peut réparer qu'en reconstituant entièrement la partie avariée.

323. Barrages de l'Oise. — On a renoncé généralement à ce système de construction coûteux, et, sur l'Oise, les bar-



Échelle de 0m,009 pour un mètre.

#### 306 CH. XII. CONSIDERATIONS GENÉRALES, BARRAGES FIXES

rages ont été formés d'une carcasse en charpente servant à maintenir les moellons et libages avec lesquels est exécuté le massif destiné à retenir les eaux. (Voir page 305.)

Le massif du barrage est formé de moellons jetés sans autre précaution que d'entremèler les petits avec les gros, de manière à laisser le moins possible de vide. Les deux talus sont exécutés, celui d'amont, avec de gros blocs irréguliers, et celui d'aval avec des pierres dressées en parement, avec lits et joints retournés d'équerre de manière à former un glacis plan.

324. Tourbillon formé par ces barrages. — L'effet de l'eau se déversant sur ces barrages, dans les crues moyennes, est à peu près celui qu'indique la figure. Le tourbillon est



au-dessus où il ne peut être nuisible; en dessous il n'y a pas d'espace vide où il tende à se reproduire. Toutefois, si l'on ne prenaît aucune précaution, il est évident que l'action de la lame déversante sur le fond feraît naître des affouillements.

Moyen de le combattre. — Le moyen le plus efficace pour les prévenir est de former, en aval, avant la mise en activité du barrage, et mieux avant de le construire, un enrochement en pierres perdues dans lequel on fiche en quinconce de petits pieux dont la tête dépasse la surface de l'enrochement, de manière que l'eau se brise tant contre ces pieux que contre les enrochements, qui sont d'ailleurs solidaires. Si l'eau n'était pas assez profonde pour que l'on pût former l'enrochement sur 0<sup>m</sup>,60 à 0<sup>m</sup>,70 d'épaisseur, et conserver encore une hauteur d'eau au moins égale au-dessus, il faudrait draguer le sol avant d'enfoncer les piquets et exécuter l'enrochement dans la fouille. Il faut, pour que le radier de chute produise le maximum d'utilité, qu'il s'enfonce progressivement à partir

du rang de moises qui limite le glacis du barrage, afin que la vitesse que l'eau acquiert en s'écoulant sur ce glacis s'anéantisse plus promptement par l'effet de l'accroissement de section qu'on lui a ménagé, et de la résistance de la masse d'eau qu'elle rencontre. L'enrochement doit s'étendre sur une longueur au moins égale à vingt fois la chute, quand le sol est mobile comme le gravier et le sable calcaire.

On pourrait croire qu'au lieu de draguer pour former le vide dans lequel l'enroche nent doit être établi, il serait plus simple de laisser agir le barrage pour pratiquer cette fouille. Elle se ferait en effet, mais il arriverait infailliblement qu'elle se creuserait d'une manière inégale; s'il survenait une crue avant que l'enrochement eût été exécuté en totalité, il se pourrait que le barrage fût emporté. D'ailleurs, les produits de l'affouillement iraient se déposer en aval et y produiraient des attérissements qui nuiraient à la navigation, et qu'en définitive il faudrait enlever. Il vaut donc mieux commencer par là et même exécuter l'enrochement en aval du barrage, avant de faire celui du massif; on est ainsi mieux à l'abri des chances d'avarie.

325. Pertuis et Écluse. — Lorsque l'on doit construire un barrage fixe, il convient d'établir préalablement, à l'une de ses extrémités, un pertuis de dimensions suffisantes en largeur et en profondeur pour donner passage aux eaux d'étiage de la rivière, d'abord pendant la construction du barrage, et ensuite dans les moments où des réparations devront être faites à quelques parties du système de retenue.

Lorsqu'il y a une écluse dans le barrage, le pertuis lui est ordinairement juxtaposé. A l'autre extrémité, le déversoir doit être solidement enraciné dans la berge, qui est elle-même surélevée pour éviter qu'elle soit tournée par les eaux des crues.

La suite de cette étude développera d'ailleurs les notions relatives aux pertuis et aux écluses. Nous n'avons eu l'intention ici que de mentionner l'existence de ces ouvrages, comme conséquence nécessaire de l'établissement d'un barrage.



-

.

•

.

.

.

•



### CHAPITRE XIII

# BARRAGES A PARTIES MOBILES

SOUTENUES PAR DES APPUIS FIXES

# PORTES MARINIÈRES. PONTS ÉCLUSÉS

#### SOMMAIRE:

§ 1er. Barrages à parties mobiles soutenues par des appuis fixes: — 326. Barrages à vannes. — 327. Barrages a poutrelles. — 328. Procédés plus rapides. — 329. Barrage de la Truchère. — 330. Barrage de l'Orb. — 331. Inconvénients des échappements subits. — 332. Bateau-porte d'Andrézy. — 333. Barrage de la Monnaie.

§ 2. Portes marinières et ponts éclusés : 334. Portes marinières. — 335. Ponts

éclusés.

### Figures:

Barrage à vannes, art. 326. — Barrage à poutrelles, art. 327. — Poutrelles à chevilles, art. 327. — Poutrelles à biseau (coulisse profonde), art. 327. — Poteau d'appui demi-circulaire, art. 328.

Petite planche:

Vanne à deux tiges de manœuvre, art. 326.

#### § I''

### BARRAGES A PARTIES MOBILES

SOUTENUES PAR DES APPUIS FIXES

Les barrages dont nous allons nous occuper ne sont applicables qu'aux cours d'eau de faible dimension, ou dont le régime est tel que le lit peut être obstrué en partie sans qu'il en résulte d'inconvénient. Ils répondent à des besoins spéciaux et présentent, à ce titre, une très grande variété. Nous en reproduirons les types principaux, d'après M. l'inspecteur général Mary, afin que l'on juge des diverses idées qui sont



### CHAPITRE XIII

# BARRAGES A PARTIES MOBILES

SOUTENUES PAR DES APPUIS FIXES

# PORTES MARINIÈRES. PONTS ÉCLUSÉS

#### SOMMAIRE:

§ 1er. Barrages à parties mobiles soutenues par des appuis fixes: — 326. Barrages à vannes. — 327. Barrages à poutrelles. — 328. Procédés plus rapides. — 329. Barrage de la Truchère. — 330. Barrage de l'Orb. — 331. Inconvénients des échappements subits. — 332. Bateau-porte d'Andrézy. — 333 Barrage de la Monnaie.

§ 2. Portes marinières et ponts éclusés : 334. Portes marinières. — 335. Ponts éclusés.

#### Figures :

Barrage à vannes, art. 326. — Barrage à poutrelles, art. 327. — Poutrelles à chevilles, art. 327. — Poutrelles à biseau (coulisse profonde), art. 327. — Poteau d'appui demi-circulaire, art. 328.

Petite planche :

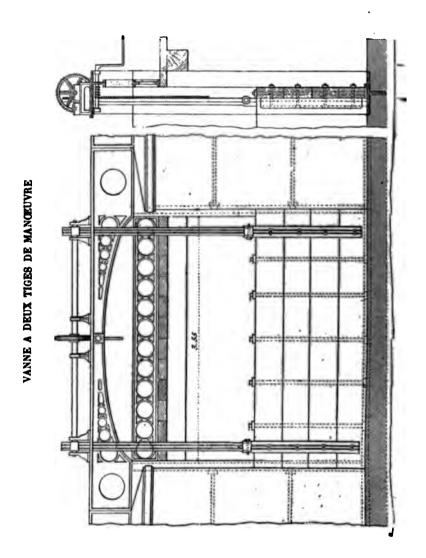
Vanne à deux tiges de manœuvre, art. 326.

### & ler

#### BARRAGES A PARTIES MOBILES

SOUTENUES PAR DES APPUIS FIXES

Les barrages dont nous allons nous occuper ne sont applicables qu'aux cours d'eau de faible dimension, ou dont le régime est tel que le lit peut être obstrué en partie sans qu'il en résulte d'inconvénient. Ils répondent à des besoins spéciaux et présentent, à ce titre, une très grande variété. Nous en reproduirons les types principaux, d'après M. l'inspecteur général Mary, afin que l'on juge des diverses idées qui sont



étage les unes sur les autres jusqu'à la hauteur voulue pour obtenir la retenue qu'on s'est fixée.

Coulisses. — Dans les faces verticales des piles, près des avant-becs, sont creusées des coulisses dans lesquelles s'engagent les extrémités des poutrelles. Pour les placer et les

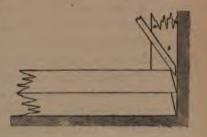
retirer, on fixe dans une mortaise entaillée aux deux bouts de chaque poutrelle, un goujon horizontal en fer que l'on saisit avec un croc et par lequel la pièce de bois demeure suspendue. D'autres fois on a recours à une cheville en fer qui déborde horizontalement et qu'un croc double va saisir.



Souvent le poids des poutrelles n'est pas assez considérable pour les faire descendre jusqu'au radier; alors on les charge avec de nouvelles poutrelles qu'on laisse tomber d'une certaine hauteur, afin de produire un choc propre à vaincre le frottement et à déterminer en outre l'enfoncement de la fermeture mobile.

Procédé plus expéditif. — Comme la manœuvre des poutrelles, une à une, est fort longue, on a eu quelquefois recours

a des dispositions plus expéditives : on a, par exemple, fait une des coulisses assez profonde et assez large pour que, en poussant les poutrelles dans cet excès de profondeur, elles cessent de porter dans la coulisse opposée. Pour les pousser

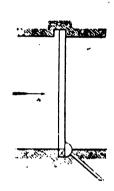


on se sert d'un levier ab, que l'on introduit entre le fond de la coulisse et l'extrémité de la poutrelle préalablement coupée en biseau. Pour empêcher les poutrelles de s'échapper d'ellesmêmes, et pour qu'en les posant, elles portent toujours dans les deux coulisses, on place une pièce de bois verticale mobile au fond de la plus grande, et on la retire au moment d'effectuer la manœuvre.

#### CHAPITRE XIII. BARRAGES MOBILES

328. Procédés encore plus rapides par échappement simultané. — Dans d'autres circonstances, où l'on avait besoin de faire échapper toutes les poutrelles à la fois pour produire une espèce de chasse, voici trois procédés pris parmi ceux dont on a fait usage.

On a appuyé l'une des extrémités des poutrelles sur un poteau derri-cylindrique mobile autour de son axe et dont la



314

saillie disparaît après un quart de révolution. On retient ce poteau en place à l'aide d'un fort levier, et il suffit de lui laisser décrire 90° pour que toutes les poutrelles s'échappent en tournant dans la rainure opposée dont on a augmenté la largeur afin de leur permettre leur mouvement de rotation. On a eu soin, d'ailleurs, en remettant ces poutrelles en place, de loger au fond de la rainure du poteau demi-cylindrique une pièce de bois empêchant que leur pression s'exerce ailleurs

que sur le quart de cylindre en porte à faux.

329. Barrage de la Truchère. — A la Truchère, sur la Seille, à l'embouchure de cette rivière dans la Saône, on a employé un rideau de poutrelles s'appuyant d'un côté sur un refouillement du bajoyer et de l'autre sur un poteau vertical mobile autour d'un axe horizontal scellé dans le radier. La tête de ce poteau était retenue par un verrou qu'il suffisait de chasser à coups de marteau pour que le poteau appui se renversât, laissant les poutrelles décrire un arc de cercle qui les ramenait à la rive opposée où les retenait une chaîne attachée à chacune d'elles.

330. Barrage de l'Orb. — Sur l'Orb, près de Béziers, on s'est servi d'un poteau tournant méplat qui était logé dans une rainure d'une profondeur égale à l'épaisseur du poteau, mais moindre que sa largeur. Lorsque la retenue devait être tendue, ce poteau faisait saillie et recevait l'extrémité des poutrelles; lorsqu'au contraire on le laissait tourner, il s'ef-

façait dans sa rainure et les poutrelles s'échappaient. C'est à pen près le premier des trois modes que nous avons décrit, avec cette différence que dans ce dernier cas un simple coin, tantôt serré, tantôt chassé, entre la rainure et le poteau, rendait facile et sûre la manœuvre du point d'appui tournant.

331. Inconvénients des échappements subits. — Mais ces échappements subits ont de graves inconvénients. La masse d'eau qui tombe brusquement sur le radier force à le construire très solidement et à le prolonger par un arrièreradier. Les poutrelles sont, quoiqu'on fasse, d'un maniement pénible et long toutes les fois qu'elles atteignent 6 m.; à 8 m. leur manœnvre devient tellement difficile qu'elle cesse d'être pratique; et si, avec ces dernières dimensions, on laissait les poutrelles frapper le bajoyer avec la violence due à la pression de l'eau qu'elles cessent de retenir, elles ébranleraient les maçonneries et se briseraient elles-mèmes.

Enfin il ne faut pas perdre de vue que les barrages à poutrelles sont en somme des barrages verticaux et exigent les mêmes précautions de fondation; les piles qu'ils nécessitent sont d'ailleurs des obstacles qu'il serait dangereux de laisser subsister dans un cours d'eau sujet à des débâcles de glace, de telle sorte qu'en définitive ils ne sauraient s'appliquer aux barrages destinés à améliorer la navigation des grands cours d'eau.

332. Bateau-porte d'Andrésy. — Dans la même catégorie de barrages mobiles rentre le bateau-porte dont l'essai a été fait sur la Seine à Andrésy. Il se composait d'un grand coffre rectangulaire ou bateau, dont les parois latérales verticales étaient réunies à l'intérieur par un pont, et dans la longueur par des cloisons transversales. Ce bateau était amené devant le pertuis et appuyé contre la tête amont des maçonneries; on ouvrait alors des vannes du côté d'amont, l'eau se précipitait dans l'intérieur et par son poids forçait le bateau à descendre jusqu'à ce que le pertuis fût fermé. Pour le sou-lever, on ouvrait la vanne d'aval, l'eau intérieure s'écoulait,

et le bateau, s'allègeant, remontait en glissant sur une chaîne 316

Ce bateau avait 36°,00 de long et supportait une chute de de galets interposée entre la culée et lui. 1",80; il a lonctionné quelque temps avec facilité, dit M. Mary, tant qu'on ne lui a demandé que de monter et de descendre pour opérer des manœuvres hydrauliques; mais il n'a pu se déplacer dans un moment où l'on voulait ouvrir le passage en grand, et comme d'ailleurs on devait exhausser la retenue au delà de sa résistance pour un porte à faux de 36 mètres,

Ces bateaux-portes sont très employés dans les ports marion y a renoncé définitivement. times pour barrer l'entrée des grandes formes de radoub. Ils constituent une fermeture sure, étanche et d'un excellent usage parce que la manœuvre en est rare; toutefois cette manœuvre, qui exige un assez grand déploiement de soins de forces, se prête mal à un service journalier.

333. Barrage de la Monnaie. — Nous rattacherot encore aux barrages à engins mobiles, s'appliquant sur d appuis latéraux, le barrage qu'a fait établir au Pont-Ne an M. Poirée fils. Il consiste en un tablier cylindrique en tô Ze, consolidé par des poutres et suspendu par des rayons en Ter à deux axes fortement scellés dans les parois du pertures, Lorsque ce tablier est abandonné à l'action de la pesanteur, il vient se loger derrière son seuil dans un creux pratique à cet effet dans le radier. Quand, au contraire, on veut former retenue, on soulève le cylindre vers l'aval à la hauteur où l'on veut le maintenir. Pour faciliter ces manœuvres, le poids du tablier est équilibré par des contre-poids.

Ce système, fort ingénieux, a l'iuconvénient de ne se prèter qu'à la fermeture de pertuis étroits; mais il a résolu, d'une manière extrèmement satisfaisante, le problème posè au Pont-Neuf de soutenir une chute de 0°,60 à 1°,00 jusqu'au moment où les eaux de la Seine sont élevées à 4º,00 au-dessas de l'étiage.

# § II

## PORTES MARINIÈRES ET PONTS ÉCLUSÉS

334. Portes marinières. — Les plus anciens barrages de ce genre sont ceux qui, dans le bassin de la Seine, livraient passage aux bateaux et aux trains destinés à l'approvisionnement de Paris. Presque toutes les retenues des usines situées sur les cours d'eau navigables de ce bassin en étaient munies.

Leur type était la porte marinière de l'ancien barrage de Saint-Maur. La retenue se constituait à l'aide de planches verticales appelées aiguilles, qui s'appuyaient : en bas sur un seuil fixé au radier, et à 1 mètre au-dessus sur une grande et forte pièce de bois horizontale qui traversait le pertuis.

Cette pièce était rattachée par des haubans à un poteau susceptible de tourner autour d'un axe vertical, auquel elle s'assemblait par une de ses extrémités, tandis que l'autre extrêmité pouvait se fixer, à l'aide d'un loquet, à la rive opposée.

Quand un bateau ou un train se présentait pour passer, le barragiste, par l'ouverture du loquet, rendait libre l'extrémité de la pièce formant appui; sous la poussée de l'eau, tout le système décrivait un quart de cercle; la pièce de bois venait se ranger contre la rive du poteau, les aiguilles étaient emportées par le courant, et le passage se trouvait démasqué. Bateaux ou trains profitaient alors du flot qui se déversait du bief supérieur dans le bief inférieur, après quoi l'on ramenait en place la poutre horizontale; puis, le loquet fixé, les aiguilles étaient reposées une à une et la retenue se reconstituait.

Ces portes marinières ont longtemps fonctionné et fonctionnent encore dans les rivières ou parties de rivières qui n'ont pas été canalisées. On conçoit toutefois qu'elles ne peuvent desservir qu'une circulation peu active et ne se prêtent en réalité qu'à la navigation des trains de bois, les bateaux n'étant plus construits aujourd'hui pour affronter de sem-



318 CHAPITRE XIII. BARRAGES MOBILES

blables passages. Elles s'appliqueraient difficilement, d'ailleurs, à une ouverture de plus de 12 mètres. (Voir les Annales des Ponts et Chaussées de 1838, 1 semestre; M. Emmery.)

335. Ponts éclusés. - Une disposition d'un genre analogue a été adoptée à certains ponts, notamment à celui de Belombre sur l'Yonne. La retenue est toujours formée par des aiguilles, mais la pièce sur laquelle s'appuient ces aiguilles, au lieu de s'effacer en décrivant un cercle horizontal, est soulevée à l'aide d'un cric. Pour ouvrir la retenue, le barragiste, monté sur cette pièce, enlève d'abord les aiguilles une à une, puis relève la pièce de bois à l'aide du cric, et laisse ainsi la passe libre. Pour la refermer, on exécute la manœuvre inverse, aussi longue et aussi difficile; il est permis de dire que ce système serait encore moins applicable que les portes marinières au passage des bateaux. Il peut s'utiliser, au contraire, pour le passage des trains ou le flottage à bûches perdues, et c'est à ce titre que nous le mentionnons. On trouvera plus de détails dans les Annales des Ponts et Chaussées de 1836, 2° semestre; notice de M. Boucher de la Rupelle.

## CHAPITRE XIV

# BARRAGES POIRÉE

#### SOMMAIRE:

§ 1st., Description générale : 336. Idée générale du barrage Poirée. — 337. Des aiguilles. — 338. Manœuvre de relevage. — 339. Manœuvre d'abattage. § 2. Échappements : 340. Échappement de MM. Poirée fils et Michal. — 341. Échappement de M. Chanoine. — 342. Échappement de M. Kummer. — 343 Echappement de M. Salmon.

Echappement de M. Salmon.

3. Du rideau de retenue des caux : 344. Manœuvre des aiguilles pour l'ouverture de la passe. — 345. Manœuvre pour la fermeture; dangers qu'elle présente. — 346. Augmentation de difficulté avec le développement des retenues. — 347. Impossibilité d'employer des aiguilles plus épaisses que larges, — 348. Calcul des dimensions d'une aiguille. — 349. Insuffisance des aiguilles employèes en France; conséquences. — 350. Barres d'appui. — 351. Aiguilles hexagonales. — 352. Aiguilles creuses et en forme de T. — 353. Étanchement par le foin, les herbes, des bâches en toile. — 354. Stores de M. Caméré. — 355. Stores de fermeture remplaçant les aiguilles. — 356. Vannes de M. Boulé. — 357. Essai de manœuvre de fortes aiguilles. — 358. Résumé sur le rideau de fermeture.

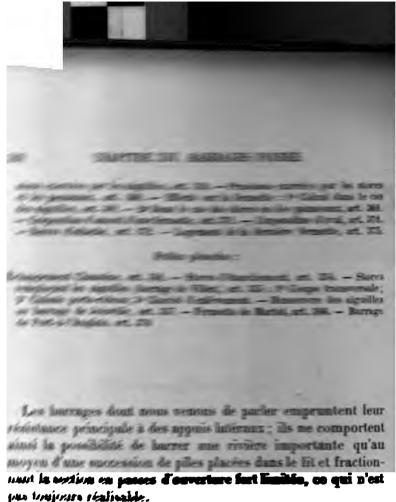
3. Des fermettes : 359. Pressions exercées par les aiguilles. — 360. Pressions exercées par les stores et les panneaux. — 364. Détermination de la valeur des efforts sur la fermette : 1º Méthode graphique; 2º méthode de calcul à Cas des aiguilles; cas des stores ou des panneaux. — 362. Résumé. — 363. Autres genres d'efforts. — 364. Fermettes primitives de M. Poirée. — 365. Fermettes de la Meuse ardennaise. — 366. Fermettes de Martot. — 367. Fermettes de la Meuse ardennaise. — 368. Fermettes de Martot. — 367. Fermettes de la Meuse ardennaise. — 368. Fermettes de Port-a-l'Anglais. — 369. Fermettes de la Meuse ardennaise. — 370. Fermettes à treillis. — 371. Tourillons et crapaudines, — 372. Barres d'attache. — 373. Voie de fer de service. — 374. Chaînes d'attache des fermettes. — 375. Logement de la dernière fermettes. — 376. Passerelle de manœuvre. — 377. Espacement des fermettes. des fermettes.

des fermettes.

5. Du radier: 378. Efforts de compression et d'arrachement. — 379. Ancrage de Martot. — 380. Ancrages de la Meuse ardennaise, de la Meuse belge. — 381. Ancrage de Villez. — 382. Avantages des senils et du bâti métalliques. — 383. Possibilité de construire des batardeaux. — 384. Inclinaison des alguilles. — 385. Garniture du seuil. — 386. Appuis de la crapaudine d'aval. 
5. Avantages et inconvênients des barrages Poirée: 387. Avantages : simplicité et rusticité, facilité d'assemblage, élasticité dans la hauteur de retenue, répartition des courants à volonté. — 388. Inconvénients: défaut d'étanchéité des aiguilles, lenteur de manœuvre, corps flottants, glaces.

#### Figures :

Le barrage Poirée, art. 336. — Griffe à mâchoires, art. 340. — L'excentrique de Guanoine, art. 341. — Échappement de la Meuse belge, art. 342. — Pres-



Le probleme des barrages a été résolu d'une manière générale par l'invention de la fermette mobile, due à M. l'inspecteur général l'oirée, invention qui a fait dans la navigation intérieure une véritable révolution, en permettant d'exhausser le niveau d'une rivière quelconque sans piles intermédiaires et de rendre cette rivière à son cours naturel, quand le besoin

n'on fait sentir.

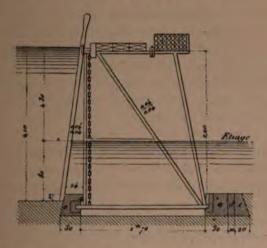
§ Ier

# DESCRIPTION GÉNÉRALE

2000. Idea generale du barrage a fermettes comp par M. Potree. Ce système de retenue se réalise en établicant sur un radier général, s'étendant d'une rive à l'auta, une serie de fermettes en fer, placées dans le sens du count et mobiles à leur pied, autour d'un axe horizontal qui l'

permet de se rabattre dans un refouillement du radier, quand la retenue est effacée.

Chacune de ces fermettes, après qu'on l'a redressée, reçoit



à sa partie supérieure et antérieure les deux extrémités d'une barre d'appui horizontale, qui avec un seuil spécial ménagé dans le radier, constitue le double support des aiguilles. Leur traverse supérieure est surmontée d'une passerelle légère formée de simples planches juxtaposées, et c'est de cette passerelle que s'exécutent les manœuvres.

337. Des aiguilles. — Les aiguilles sont de simples barres de bois, de forme parallélipipédique, dont le haut est travaillé en poignée et que le barragiste juxtapose à la main pour former la retenue, ou enlève successivement pour la faire disparaître. Cette double opération s'opère en circulant sur un pont de service qui s'appuie sur la partie supérieure des fermettes et règne sur toute la longueur du barrage.

338. Manœuvre de relevage. - La manœuvre est des plus simples:

Veut-on barrer une rivière? On relève, une à une, les fermettes qui sont rattachées entre elles par des chaînes; aussitôt que chacune d'elles est debout, on la fixe à celle qui la précède par des barres d'appui, puis on pose la passerelle à l'aide de laquelle on s'avance plus loin; et, de proche en proche, s'établit ainsi l'armature résistante qui doit supporter l'effort de renversement.

Devant cette armature viennent ensuite se ranger verticalement les aiguilles que l'on place en nombre suffisant pour donner au bief le niveau voulu, et que l'on répartit sur le barrage de telle façon que l'écoulement s'opère dans la meilleure direction. On augmente ou on diminue le nombre de ces aiguilles pour suivre les variations du débit, et l'on est ainsi tout à fait maître de l'écoulement des eaux.

339. Manœuvre d'abattage. - Si l'on veut, au contraire, à l'approche d'une crue, lui livrer passage, on enlève la quantité d'aiguilles nécessaire, tout le rideau même quand la crue l'exige; puis si l'on craint les corps flottants ou les glaçons, on fait tomber successivement les fermettes en repliant la passerelle, et la rivière est libre.

Nous verrons plus tard, en étudiant chacun des organes de ce système de barrage, les difficultés que peut, dans certains cas, présenter cette manœuvre. Bornons-nous à constater pour le moment qu'elle est nécessairement longue, et disons en quelques mots les procédés employés pour l'ahréger, en laissant échapper à la fois toutes les aiguilles d'une travé séparée par deux fermettes. Voici plusieurs dispositions consacrées par l'expérience.

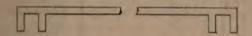
The second second

## § 11

#### ECHAPPEMENTS

340. Échappement de MM. Poirce fils et Michal-MM. Poirce fils et Michal ont adopté pour barre d'appui le première planche de la passerelle qui repose sur la partie montre des fermettes. Cette planche est soulement le monvement de recul par deux solides taques se supreme fer rond, adhérents à la fermette; elle est, d'ailleurs, fixée contre tout déplacement longitudinal par des broches qui passent dans des œillets ménagés également dans la partie supérieure des fermettes. Un des coins de la planche est arrondi en quart de cercle, toutes les aiguilles sont réunies par une corde entre elles et à leur planche d'appui, puis cette corde va se fixer en aval à un câble attaché à la rive.

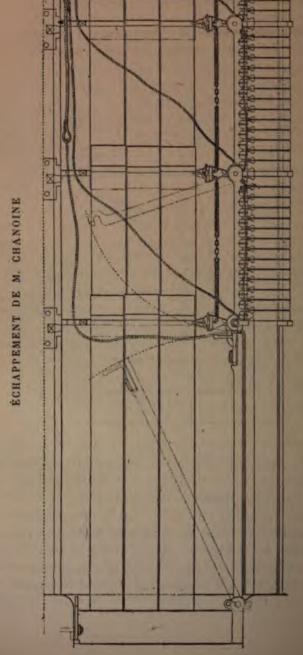
Lorsque l'on veut ouvrir la passe, on commence par enlever à la main les premières aiguilles masquant le passage entre la culée extrème et la fermette voisine, ainsi que les liaisons, quelles qu'elles soient d'ailleurs, qui les rattachaient l'une à l'autre. On crée ainsi, par les moyens ordinaires, un premier vide indispensable aux manœuvres suivantes.



Ceci fait, on interpose entre la première fermette et la seconde une griffe à mâchoires qui assure provisoirement la position respective de ces organes, pendant que les ouvriers enlèvent les broches, la passerelle elle-même, et en général toutes les liaisons, à l'exception de la planche qui supporte les aiguilles. La griffe à mâchoires étant retirée en dernier lieu, la première fermette et la planche formant barre d'appui ne sont plus adhérents que par les frottements.

Alors, avec un levier de forme spéciale, ou ébranle la fermette que l'on veut abattre dans le sens du mouvement qu'elle doit prendre ; ce premier déplacement met son taquet en contact avec la portion arrondie de la planche-appui qui, chargée par la pression des aiguilles, effectue sa rotation et pousse vivement la fermette vers le radier; pendant ce temps, les aiguilles et la planche elle-même sont emportées à la fois par le courant et demeurent flottantes au bout du câble ou cincenelle (Amales de 1843, 1° semestre; notice de M. Poirée fils).

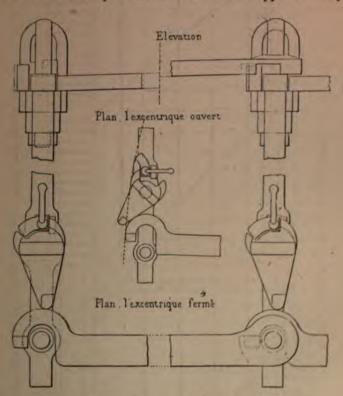
M. Charles Poirée dit qu'à l'aide de ce procédé on peut, à la rigueur, ouvrir un pertuis de 30 mètres en six minutes ; mais il fait observer qu'il vaut mieux aller moins vite, et s'assurer successivement, après la chute de chaque fermette, en mesu-



Plan d'une partie du barrage, (Echelle de 0m,037 pour un mêtre.)

rant la longueur de la chaîne qui la rattache à sa voisine, qu'elles sont toutes bien à leur place, c'est-à-dire logées dans le refouillement du radier.

341. Échappement de M. Chanoine. - Le procédé de M. Chanoine est un peu différent. La barre d'appui de chaque



travée est percée d'un œil à une extrémité et armée d'un crochet à l'autre, comme certaines barres de fer qui servent souvent, à la campagne, à fixer un battant de porte, de l'intérieur (Voir la petite planche, page 324.) Dans le barrage, toutefois, le mouvement de rotation de la barre est horizontal. La rotation s'effectue sur la fermette qui doit rester en place; le crochet se fixe à celle qui doit tomber, et en tel sens que la pression l'ouvre, c'est-à-dire que la concavité du crochet regarde l'amont. Dans cette position, la barre ne serait susceptible de supporter aucune pression sans tourner autour du goujon dans lequel est fixé son œil. Pour la maintenir en place, on soutient le crochet par un excentrique adhérent à la fermette. Cet excentrique est habituellement rendu jimmobile à l'aide d'une clé, tandis qu'un taquet limite son mouvement de rotation lorsqu'on le laisse libre, et ne lui permet de tourner que de 45° environ.

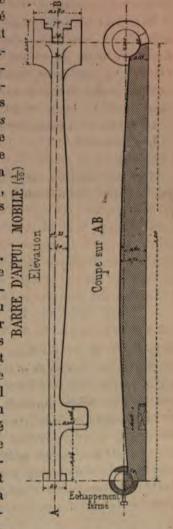
Quand on veut faire disparaître la retenue, on a recours comme précédemment à une griffe à mâchoires qui va d'un excentrique à l'autre, et qu'on maintient en place jusqu'à ce qu'on ait enlevé la passerelle et toutes les liaisons sauf la barre d'appui, toujours soutenue par l'excentrique sans sa clé, c'està-dire à peu près en équilibre.

Alors on enlève la griffe à mâchoires; et, de la fermette qui va rester debout, on frappe l'excentrique de la fermette qui doit tomber; cet excentrique se déplace de 45° et laisse la barre d'appui faire sa rotation. Au début du mouvement, la pointe du crochet s'appuie sur le côté de l'excentrique formant plan incliné, le chasse ainsi que la fermette qui le supporte, et fait tomber celle-ci pendant que les aiguilles sont emportées par le courant (Annales de 1843, 1° semestre; M. Chanoine).

342. Échappement de M. Kummer. - L'échappement de la Meuse belge dissère de ceux dont nous venons de parler, en ce que les fermettes ne se couchent pas au moment où les aiguilles sont enlevées par le courant ; ce n'est qu'après la disparition des aiguilles, et si les circonstances le réclament, que l'on abat les fermettes. La barre d'appui est en fer et mobile comme l'est la barre de l'échappement Chanoine, avec cette différence qu'il n'y a pas de crochet à l'extrémité, mais un taquet qui vient s'appuyer sur un poteau valet demi-circulaire à l'emplacement du contact et mobile autour de son axe dans un étui fixé à la fermette. Quand le taquet d'extrémité rencontre la partie circulaire du poteau valet, la barre d'appui est soutenue à ses deux bouts, en sorte qu'on peut la charger d'aiguilles et tendre la retenue. Si, maintenant, à l'aide d'une clé, on tourne le poteau valet dans son étui d'un quart de révolution, un des points d'appui disparaît, le taquet peut passer à travers l'étui, la barre s'échappe, se replie le long de la fermette, et les aiguilles sont emportées par le courant.

Toute la manœuvre ici s'effectue au-dessous de la passerelle que l'on a surhaussée d'une quantité suffisante. Un tour de clé suffit pour ouvrir une travée et les appareils sont aussi simples que pratiques. Les détails qu'ils comportent se trouvent dans les Annales des Ponts et Chaussées de novembre 1870 (Notice de M. Saint-Yves) et dans le Mémoire publié sur la canalisation de la Meuse belge par M. Martial Hans, ingénieur en chef, directeur des ponts et chaussées à Bruxelles.

343. Échappement de M. Salmon. - Mentionnons encore le système imaginé par M. le conducteur Salmon et appliqué au harrage de la Chaînette, sur l'Yonne. Ce sont toujours les barres à échappement qui ouvrent la retenue ; chacune d'elles porte à l'une de ses extrémités un œil dans lequel pénètre le goujon d'une fermette; à l'autre extrémité est placé un talon inférieur contre lequel vient buter la fermette suivante. De plus, à ce même bout et sur la face supérieure de la harre est soudé un taquet demi - cylindrique, lequel est em-



brassé par un quart de cylindre creux, soudé près de l'æil et à la face inférieure de la barre suivante. Cette disposition ne permet le renversement d'une fermette que si l'on fait faire un quart de révolution à sa barre d'échappement. Aussi est-ce là la manœuvre qu'on emploie pour ouvrir la passe. La rotation de cette barre détermine l'enlèvement des aiguilles, puis permet ensuite, lorsqu'elle est complète, la chute de la fermette.

Tels sont les principaux systèmes d'échappement; il était utile de les connaître, afin de se faire une idée générale du fonctionnement des barrages à fermettes. Cette idée générale était elle-même indispensable pour nous permettre l'étude successive des diverses parties constitutives d'un barrage; nous examinerons en conséquence successivement:

Le rideau de retenue des eaux.

Les fermettes.

Le radier.

Nous terminerons en faisant connaître les avantages et les inconvénients du système.

#### § III

# DU RIDEAU DE RETENUE DES EAUX

Lorsque M. l'inspecteur général Poirée exécuta les premiers de ses barrages mobiles, de 1834 à 1837, les aiguilles qui devaient former le rideau étanche de la retenue n'avaient que de très faibles dimensions. La longueur était de 2<sup>m</sup>,00 à 2<sup>m</sup>,50, parfois moindre, tandis que la section était de 0<sup>m</sup>,07 sur 0<sup>m</sup>,04. Leur poids était à Épineau de 6 kilogrammes, et l'on conçoit avec quelle facilité s'effectuait la manœuvre sous une chute habituellement comprise entre 1<sup>m</sup>,00 et 1<sup>m</sup>,50.

Cette manœuvre est d'ailleurs des plus simples, bien qu'exigeant de la part des agents une certaine habitude.

344. Manœuvre des aiguilles pour l'ouverture de la passe. — Pour enlever une aiguille à la main, le barragiste, d'un mouvement brusque, en sépare la tête de la barre

d'attache, la repousse vers l'amont en refoulant l'eau, puis la ramène sur les aiguilles voisines. Dans ce mouvement, l'aiguille repoussée s'appuie sur celle qui lui est contiguë par un point de son arête situé vers le bas, et fait un léger mouvement de bascule qui lui permet |de quitter la place qu'elle occupait sur le seuil. La pression qu'exerce l'eau sur elle est alors à peu près annulée, et il est aisé de la retirer en la faisant glisser sur celles qui lui servent de soutien.

A mesure que le barrage se dégarnit, la chute va en s'essacant, et les dernières aiguilles s'enlèvent avec la plus grande facilité, puisqu'elles ne sont plus que légèrement pressées contre leurs appuis.

Nous avons vu, d'ailleurs, que pour plus de rapidité on avait recours à divers moyens d'échappement permettant de faire disparaître le rideau en très peu de temps, et l'on peut dire que l'ouverture des barrages mobiles de M. Poirée est toujours aisée.

345. Manœuvre pour la fermeture. Dangers de cette manœuvre. — La fermeture de la passe présente plus de difficultés; le barragiste, debout sur la passerelle, et tenant l'aiguille d'une main, l'immerge dans une position voisine de la verticale, à deux ou trois décimètres en amont de sa position définitive; il la plonge ainsi jusqu'à ce qu'il sente le radier, puis il laisse marcher l'aiguille que pousse le courant jusqu'à ce que son extrémité inférieure, tout en frottant le fond, vienne s'appuyer sur le seuil, tandis que l'extrémité supérieure s'applique sur la barre d'attache.

Pour exécuter ce mouvement, il faut une certaine habitude, et surtout ce que les ouvriers appellent le tour de main. Si, en effet, l'immersion n'est pas assez rapide pour que le seuil soit rencontré par l'aiguille avant que le courant ait transporté le pied de celle-ci au droit de l'arrêt du radier, l'extrémité inférieure de cette aiguille est chassée vers l'aval avec violence; la barre d'appui faisant point fixe, alors que l'aiguille fait levier, le barragiste est entraîné vers l'amont par une force irrésistible, contre laquelle il ne peut se défendre qu'en abandonnant l'aiguille; or, c'est là ce qu'un ouvrier

peu expérimenté a bien rarement la présence d'esprit de faire et il en résulte parfois des accidents.

Si au contraire l'immersion de l'aiguille est trop brusque, si surtout cette aiguille rencontre le radier trop loin de son arrêt, le frottement transforme l'extrémité inférieure en point fixe; la poussée de l'eau se reportant alors sur l'extrémité supérieure refoule le bras qui la soutient, par un effort d'autant plus dangereux qu'alors l'ouvrier ne peut être que dans

une position gênante pour résister.

En somme, la pose des aiguilles, lorsqu'elle ne s'exécute qu'à la main, est une opération d'autant plus délicate que l'aiguille est plus lourde, et que la passerelle est moins bien placée pour mettre à l'aise le barragiste qui doit opérer. C'est là, suivant nous, une imperfection qu'il est possible de reprocher à l'échappement de la Meuse belge, si simple pourtant, et si ingénieux surtout en ce qui concerne l'ouverture de la passe. Le barragiste est forcé d'y mettre en place des aiguilles pesant jusqu'à vingt-cinq kilogrammes, alors que la poignée de ces engins doit se trouver à un niveau inférieur à celui de la passerelle qui le supporte, c'est-à-dire au-dessous de ses pieds. Évidemment la chose est possible, puisqu'elle se pratique couramment, mais il faut des hommes de choix et rompus au métier.

Quoiqu'il en soit, si l'on se reporte surtout au début de l'invention, le rideau de retenue des eaux, composé d'éléments maniables qu'un seul homme peut aisément enlever, remettre et transporter, est une solution très heureuse de la difficulté que présente toujours le barrage complet d'un cours d'eau de quelque importance. Cette solution, nous devons le dire, existait sur beaucoup d'anciens pertuis, et n'a eu qu'à se perfectionner pour s'adapter aux fermettes de M. Poirée.

346. Augmentation de difficulté avec le développement des retenues. — Quand les chutes se sont accentuées pour répondre aux besoins nouveaux de la navigation, quand l'augmentation du mouillage a développé la profondeur des passes, les aiguilles ont dû recevoir à la fois plus de longueur et une plus forte charge; il en est résulté un double accrois-

sement dans les trois dimensions et un poids qui les rendait de moins en moins maniables. Grâce aux échappements, la dépose était toujours facile, non sans danger pour les radiers il est vrai, qui avaient à subir les effets d'une cataracte en vue de laquelle ils n'avaient pas toujours été construits; mais en ce qui concerne la pose, qui est la partie dangereuse de l'opération, elle devenait de plus en plus difficile, surtout si l'on voulait maintenir les aiguilles dans les conditions de résistance que l'on attribue d'habitude aux bois.

Aussi n'a-t-on pas augmenté la section des aiguilles en proportion de leur longueur et s'est-on généralement contenté en France de leur donner un équarrissage de 0m,08 sur 0m,08 au maximum, dimension qui, avec une longueur de 3m,75, représente un poids de seize à vingt-deux kilos, suivant le bois qu'on utilise.

347. Impossibilité d'employer des aiguilles plus épaisses que larges. - On pourrait être tenté, pour diminuer le poids des aiguilles tout en augmentant leur résistance, de ne pas adopter la forme carrée que nous venons de citer, et de faire de la section un rectangle dont le plus grand côté serait orienté dans le sens de la pression de l'eau. Les essais qui ont été tentés dans ce sens ont montré qu'un madrier méplat ne peut pas se tenir de champ sous ce genre de pression; le courant le rejette forcément à plat, par un effet de torsion dont l'homme qui le place ne peut pas être maître; et, pour qu'au milieu des trépidations que leur imprime le jet d'eau qui les entoure, les aiguilles soient stables, il faut qu'elles soient au moins très voisines du carré.

Sur la Meuse belge, où l'on n'a pas craint d'arriver au poids de vingt-cinq kilog. par aiguille, on leur a donné une largeur uniforme de 0m, 10 pour une épaisseur qui est de 0m, 10 en bas, de 0m,09 en haut et de 0m,12 au milieu. On y a gagné en résistance, mais on a perdu la faculté de pouvoir placer l'aiguille sur une face quelconque, ce qui est un des avantages des sections carrées; on a aussi porté à peu près à sa limite le poids de la pièce à manœuvrer à la main, ce qui peut être une cause d'accidents.

Pour rester en deçà de cette limite, sur les grands barrages français, on s'est contenté, comme nous l'avons déjà dit, d'un équarrissage de 0<sup>m</sup>,08 sur 0<sup>m</sup>,08, et on a par cela même imposé au bois des efforts qui dépassent de beaucoup ceux que la pratique conseille. Il est aisé de s'en rendre compte.

348. Calcul des dimensions d'une aiguille. - Un calcul élémentaire permet d'apprécier la charge qui pèse sur une aiguille d'une longueur donnée et supportant une retenue dont les niveaux sont déterminés. Un autre calcul, beaucoup moins simple, permet d'en déduire rigoureusement les dimensions à lui donner; mais il n'est pas nécessaire, suivant nous, d'y avoir recours. Il résulte, en effet, des expériences faites par M. l'inspecteur général Chevallier et rapportées dans les Annales des Ponts et Chaussées de 1850 (1er semestre), que les flexions prises par un madrier restent à peu de chose près les mêmes quand la charge totale qui lui est imposée se répartit uniformément sur toute sa longueur, ou se distribue comme la pression de l'eau, c'est-à-dire proportionnellement à la profondeur d'immersion. Les moments de rupture, à la section la plus chargée, ne diffèrent que de 1/20; et M. Chevallier se résume en disant que « sous le double rapport de la résistance et de la flexion, les actions exercées sur un bordage par la même charge totale dans ces deux cas, en apparence si dissemblables, sont presque identiques. » Or, si cette proposition est exacte pour un madrier chargé sur toute sa longueur d'une façon dissemblable, à fortiori l'est-elle pour une aiguille de barrage immergée sur ses deux faces, et chargée d'une manière uniforme au-dessous du bief d'aval. On peut donc, à notre avis, sans erreur sensible, surtout en face des hypothèses que l'on est obligé d'accepter en matière de résistance de matériaux, calculer l'épaisseur d'une aiguille en la considérant comme une poutre portée sur deux appuis, et chargée uniformément du poids total représenté par la pression de l'eau qui agit sur elle.

Si nous appliquons cette manière de faire aux barrages de la Meuse belge, où la hauteur d'eau à l'amont est de 3",10 et la hauteur d'eau à l'aval de 0<sup>m</sup>,60, nous trouvons un moment de rupture par mètre courant représenté par le nombre 180350 en prenant pour unités le centimètre et le kilogramme.

349. Insuffisance des aiguilles généralement employées en France. Conséquences. — Les grosses aiguilles belges de 0<sup>m</sup>,12 d'épaisseur peuvent, sous cet effort, ne travailler qu'à raison de 75 kilos par centimètre carré, mais des aiguilles de 0<sup>m</sup>,08 sur 0<sup>m</sup>,08 travailleraient à 169 kilos par centimètre carré, soit au quart ou au cinquième de l'effort de rupture, ce qui est assurément exagéré. C'est cependant dans ces conditions que fonctionnent la plupart des aiguilles de nos barrages.

Aussi ne doit-on pas s'étonner des nombreux défauts de nos rideaux de retenue des eaux. Les flexions sont trop considérables pour l'élasticité du bois, qui se détériore rapidement. Ces flexions sont, de plus, très inégales; et quand une aiguille prend une flèche qui dépasse celle de sa voisine de 0°,08, c'est-à-dire d'une épaisseur d'aiguille, il se produit une perte d'eau qui, fréquemment répétée, compromet la retenue an moment de l'étiage. Le mal est d'ailleurs inévitable, car avec des pièces d'aussi faible dimension pour leur longueur, le hois est toujours à fibres découpées, et quel que soit le soin apporté au choix des matériaux l'inégalité de résistance ne peut s'éviter, surtout quand l'usure s'est fait sentir.

Bien des moyens ont été employés pour remédier à cette insuffisance.

350. Barre d'appui pour les aiguilles. — On s'est servi de barres d'appui placées à mi-hauteur des fermettes, soutenues par elles (Annales de 1870; M. l'Ingénieur en chef Saint-Yves), et offrant aux aiguilles un troisième point d'appui, précisément à leur maximum de flexion. La retenue y a gagné, mais on a perdu le moyen de recourir aux échappements, ce qui est un grave inconvénient. D'autre part, si les aiguilles ont mieux résisté à la charge permanente de l'eau, leur insuffisance a reparu au moment de la dépose; la traction énergique que l'on a dû imprimer à leur tête pour les arracher à leur

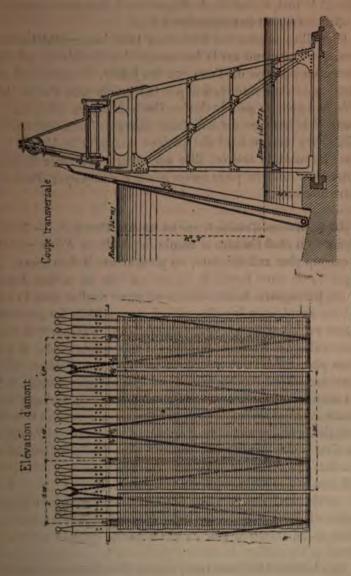
triple support a amené de très nombreuses fractures, et, en somme, l'emploi des barres d'appui ne s'est pas généralisé.

351. Aiguilles hexagonales. — On a tenté encore l'emploi d'aiguilles hexagonales semi-régulières qui se juxtaposent en se recouvrant légèrement par les faces latérales (Annales de novembre 1870). M. Saint-Yves rend compte de l'essai qu'il a fait au barrage de Martot, et qui lui a donné de bons résultats. Nous n'en pensons pas moins que, avec le temps et l'usure, les | gauchissements doivent amener des disjonctions d'autant plus gènantes que l'enchevêtrement des aiguilles doit être plus précis. En outre, il est hors de doute que le découpement des fibres qu'entraîne toujours, dans une pièce de bois, une forme un peu compliquée, diminue notablement sa résistance par centimètre carré, surtout quand la pièce est de faible dimension; enfin, la pose et la dépose exigent plus de soin et rendent la manœuvre moins courante, de telle sorte que l'aiguille hexagonale n'est pas entrée dans la pratique.

352. Aiguilles creuses et en forme de T. — M. de Lagrené parle aussi dans son Cours de navigation de la possibilité de construire des aiguilles en bois, soit en forme de T, soit en forme de carré évidé, de façon à augmenter la résistance sans accroître le poids. Nous ignorons si des essais ont été réalisés dans cet ordre d'idées, mais il nous semble difficile d'assurer un bon service à des assemblages, quels qu'ils soient, de bois minces, alors que ces assemblages doivent être soumis à des chocs, à des alternatives de sec et d'humide, à des vibrations constantes, et par dessus tout à des manœuvres brutales comme celle des échappements. La solution, probablement, n'est donc pas encore là.

Le plus souvent, comme nous l'avons déjà dit, on prend le parti de se servir d'aiguilles insuffisantes comme force, en remplaçant celles qui se cassent pendant les manœuvres.

353. Étanchement par le foin, les herbes, les baches en toile. — Pour remédier aux pertes qui résultent du nombre et de la largeur des joints, on jette à l'amont du foin, des



Stores d'étanchement,

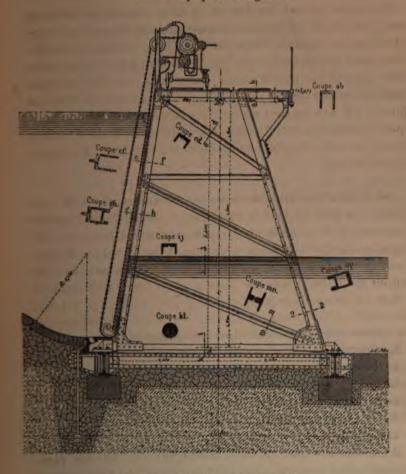
herbes aquatiques ou des escarbilles. Ces menus objets, poussés par le courant, s'arrêtent dans les joints et les étanchent. Ils ont le tort, toutefois, de disparaître à chaque manœuvre, et

d'offrir un aspect peu agréable à l'œil.

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

354. Stores d'étanchement de M. Caméré. — M. l'ingénieur en chef Caméré a résolu le problème d'une manière beaucoup plus satisfaisante, en plaçant sur la face amont des aiguilles un store formé de liteaux en bois de petites dimensions, juxtaposés horizontalement et se roulant avec la toile qui les réunit (voir la petite planche, page 335). Le store tout entier est assez léger pour pouvoir être transporté à bras; il se roule et se déroule au moyen d'une simple corde, et peut ne se placer d'ailleurs que dans les moments d'étiage. Nous n'insisterons pas sur sa manœuvre qui est absolument celle des stores en jonc ou en bois, si employés aujourd'hui; nous ferons remarquer seulement qu'il y a deux écueils à éviter dans l'emploi de cet engin, malgré sa simplicité, si l'on tient à arriver à une pratique courante et dégagée d'accidents et de retards.

Il faut que le store, tout en demeurant léger, ait une densité suffisante pour se dérouler dans l'eau sous son propre poids; s'il flotte, ou même s'il s'immerge trop lentement, il se plisse et ne recouvre pas jusqu'en bas la surface qu'il doit étancher. On obtient la densité voulue en le construisant avec du bois lourd, et en l'armant à sa partie inférieure d'un rouleau en zinc, ou garni de zinc, présentant un poids suffisant pour que le déroulement s'effectue dans de bonnes conditions. BARRAGE DE VILLEZ Stores remplaçant les aiguilles

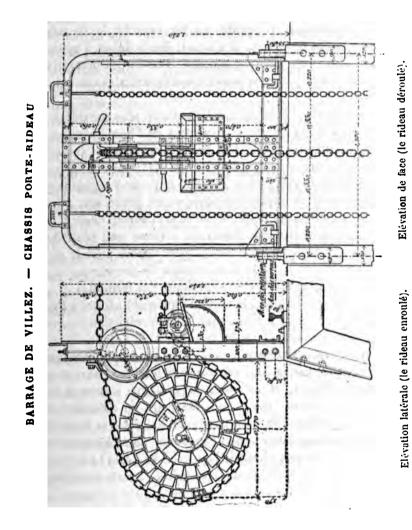


Coupe transversale des passes navigables.

Lorsque, pour relever le store, on rappelle à soi la corde ou les cordes qui l'entourent, il est nécessaire que ces attaches prennent une place à peu près déterminée sur le cylindre inférieur, pour que l'enroulement soit régulier. Si l'une de ces attaches fait défaut, l'autre agissant sur une extrémité seule est insuffisante, et le store, plaqué par la pression de l'eau sur les aiguilles, cesse d'être manœuvrable; on est alors obligé de l'extraire de force, et il n'est pas toujours construit pour résister à cet effort. Or, les cordes dont nous venons de parler sont sollicitées par les courants d'eau qui passent à travers les joints du voisinage; si on leur laisse trop de mou, elles sont entrainées hors de leur place, et l'accident dont nous venons de parler tend à se produire. On l'évite en donnant au store le plus de largeur possible sans qu'il cesse d'être maniable. Il ne convient pas qu'il ait moins de 1 mètre, et peutêtre ceux de 2 mètres sont-ils les plus pratiques. On les suspend dans une position bien horizontale, et de telle sorte que leur centre soit vis-à-vis d'une fermette; ainsi placés, ils étanchent non seulement les joints qui séparent les aiguilles, mais encore le vide que l'on trouve dans presque tous les barrages au droit de chaque fermette, vide que l'on ferme d'habitude à l'aide d'un couvre-joint spécial.

355. Stores de fermeture remplaçant les aiguilles. — Les stores, conçus comme nous venons de le dire, étanchent le rideau des aiguilles, mais ne remédient pas au manque de force de ces dernières. Aussi M. Caméré, entrant plus avant dans cet ordre d'idées, a-t-il substitué, au barrage de Port-Villez, le même engin aux aiguilles, d'une manière complète. Les stores sont alors beaucoup plus puissants; les tringles qui les composent ont un équarissage qui va jusqu'à 0<sup>m</sup>,075 en carré; elles sont articulées l'une sur l'autre au moyen de charnières, et s'appuient à chacune de leurs extrémités sur deux fermettes voisines. Ce sont de courtes aiguilles horizontales superposées et reliées toutes ensemble par un assemblage mobile, qui leur permet de se dérouler et de s'enrouler sur un rouleau fixé, comme tout à l'heure, à la partie inférieure.

Ici, toutefois, des précautions spéciales deviennent néces-



saires. Pour dérouler le store malgré la pression de l'eau, sans que ses extrémités quittent le point d'appui étroit qu'offrent les fermettes, il faut que le premier mouvement, au moins, soit bien dirigé. Ce résultat est obtenu en armant les tringles supérieures de guides en fer espacés de la même distance que les fermettes, et plaçant, dès le début, l'appareil mobile comme entre deux glissières, dans la position qui lui est indispensable pour que ses extrémités latérales soient bien

étavées.

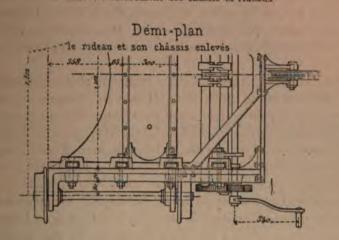
Pour le replier, il faut un effort beaucoup plus considérable que tout à l'heure, et la force directe de l'homme ne suffit plus. Un treuil intervient alors pour l'enroulement (voir les trois petites planches, pages 337, 339 et 341); par une disposition extrêmement ingénieuse, ce treuil imprime à la chaîne qui soulève le store un mouvement différentiel produisant glissement sur le rouleau et déterminant aussi l'enroulement d'une façon sûre. Enfin le même treuil est disposé non seulement pour soulever et abaisser le store, mais encore pour le recevoir et l'emporter à l'aide d'un chemin de fer sur lequel il roule et que reçoit la traverse supérieure des fermettes.

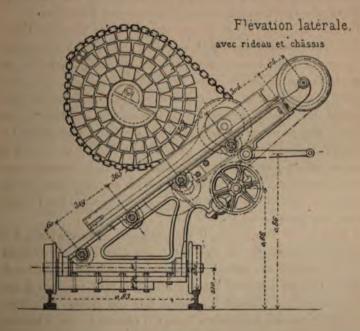
Tel est, en peu de mots, le système qui a été adopté à Port-Villez et qui réalise, sur l'état antérieur, un véritable progrès. On y gagne notablement sous le rapport de l'étanchéité; la manœuvre, grâce aux treuils, est facile et simple. On peut relever le store par le bas, créer sur le fond un courant qui entraîne les dépôts et ouvre, à de certains moments, un passage aux poissons voyageurs. On peut, au contraire, en abaissant légèrement le store par le haut, laisser se former à la partie supérieure une lame déversante, de la hauteur que l'on juge convenable; et ainsi, l'appareil se prête bien à tous les besoins, à toutes les manœuvres même, autant que l'expérience faite jusqu'ici a permis d'en juger.

A côté de ces avantages, il y a quelques inconvénients. Le système a perdu de sa rusticité; les éléments du rideau exigent un ajustage précis; ils ne sont plus transportables à la main comme l'étaient les aiguilles; il faut recourir à un treuil puissant. Ce treuil lui-même par son poids, soit lorsqu'il est en travail, soit même lorsqu'il circule à vide, a besoin

## BARRAGE DE VILLEZ

Chariot d'enlèvement des châssis et rideaux





d'un chemin de fer un peu soigné sur les fermettes. Ces dernières, chargées de tout le poids de la retenue, puisque les stores n'en reportent pas, comme les aiguilles, une partie sur le radier, ont besoin d'être plus fortes, plus larges, plus pesantes. En un mot, la modification introduite supprime les manœuvres à la main et leur substitue l'usage des engins mécaniques, ce qui est un avantage à portée des villes; ce n'en est pas toujours un en pleine campagne, ou dans une localité isolée; là, la manœuvre, comme premier besoin, doit être sûre, malgré le manque d'ouvriers spéciaux.

356. Vannes de M. Boulé au barrage de Port-à-l'Anglais. — Nous ne sortirons pas de l'ordre d'idées dans lequel nous sommés actuellement, en parlant des vannes qui ont été employées au barrage de Port-à-l'Anglais par M. l'ingénieur en chef Boulé. Nous n'en dirons toutefois que quelques mots, puisque M. Boulé a traité lui-même la question dans un article inséré aux Annales des Ponts et Chaussées (mars 4876).

Aux aiguilles, M. Boulé a substitué des panneaux en bois larges de 4<sup>m</sup>,10, hauts de 4<sup>m</sup>,30, qui reposent les uns sur les autres dans le sens vertical, et s'appuient latéralement sur deux fermettes voisines, comme le faisaient tout à l'heure les stores. Sur ces panneaux pleins, de grande dimension, et à 0<sup>m</sup>,30 au-dessous du niveau de la retenue d'amont, on place, pour terminer le rideau, un panneau de même largeur, mais plus mince et ayant 0<sup>m</sup>,30 seulement de hauteur; cette pièce peut alors être manœuvrée à la main par un ouvrier placé sur la passerelle qui couronne les fermettes.

C'est ce petit panneau que l'on met ou que l'on ôte à volonté, et avec la main, pour suivre les faibles variations du débit de la rivière. Quant aux grands panneaux on les manœuvre, lorsqu'il le faut, à l'aide d'une petite grue mobile sur chariot, actionnant une gaffe avec laquelle le barragiste saisit succes-

sivement chaque élément du rideau.

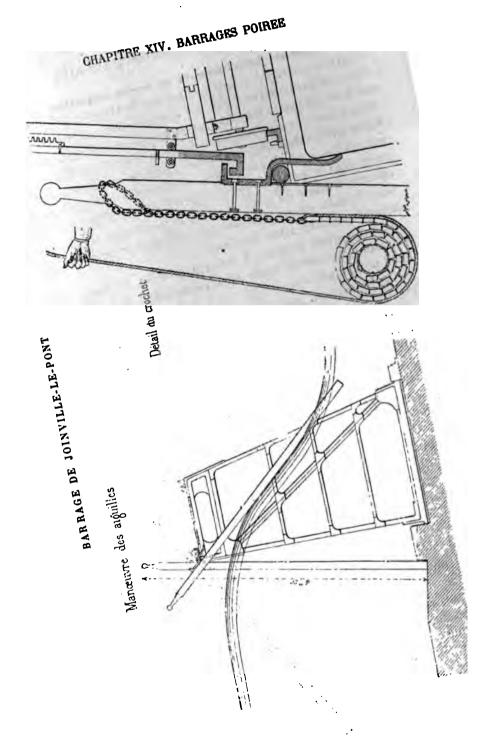
L'ouverture du barrage s'effectue en enlevant successivement chaque rangée horizontale de panneaux, et non en débouchant verticalement la travée comprise entre deux fermettes comme le font les échappements. On évite ainsi la cataracte que produit cette émission d'eau à grande pression, et on lui substitue l'action d'une lame déversante de plus en plus épaisse à mesure que les circonstances l'exigent. Le radier en souffre moins, et la manœuvre en est facilitée, car si l'on voulait enlever successivement les vannes ou panneaux étagés dans le sens vertical, on aurait assez de peine à gaffer ceux qui sont voisins du radier, au moment où l'enlèvement des premiers aurait donné naissance, dans la travée, à un courant violent.

L'avantage de ce système est aisé à apprécier; chaque élément du rideau a une surface de 1<sup>m</sup>,10 sur 1<sup>m</sup>,30 ou 1<sup>mq</sup>,43; si l'on se servait d'aiguilles, en leur donnant même une largeur de 0<sup>m</sup>,10, chacune d'elles représenterait une surface de 0<sup>m</sup>,38 pour 3<sup>m</sup>,80 de hauteur, en sorte que le développement total desjoints serait dans un rapport voisin de \frac{1.43}{0.38}, c'est-à-dire de 3,76 à 1, et l'étanchéité varierait dans la même proportion; en outre, il est facile de composer le panneau assez solidement pour qu'il résiste à la pression qui agit sur lui, de telle sorte que l'on obtient à la fois, par ce système, résistance et étanchéité.

Ici encore, toutefois, l'emploi d'appareils spéciaux est indispensable pour que la manœuvre soit possible. Cette manœuvre elle-même, bien que sûre, exige du temps et de l'habileté, parce qu'elle est délicate; et il serait utile, pour la juger en pleine connaissance de cause, qu'elle eût la sanction d'une expérience plus pratique que celle qu'elle a subie jusqu'ici. On sait, en effet, que la passe de Port-à l'Anglais fermée par les vannes de M. Boulé a deux systèmes de fermeture, et n'a fonctionné avec le nouveau, en quelque sorte, qu'à titre d'essai, Nous n'en devions pas moins la signaler à l'attention, puisque, comme nous l'avons dit plus haut, elle a pour elle des avantages sérieux.

Pour les stores de M. Caméré, comme pour les panneaux de M. Boulé, le calcul des résistances est des plus simples, puisque chaque élément du rideau est une pièce horizontale, uniformément chargée, et appuyée par ses deux extrémités.





•

357. Essais de manœuvre de fortes aiguilles. — Des essais se poursuivent aujourd'hui sur la Marne à Joinville-le-Pont, et sur la Seine à Port-à-l'Anglais, dans un ordre d'idées un peu différent. On cherche à augmenter notablement la dimension des aiguilles, afin de parer à leur insuffisance de force et d'en diminuer le nombre; puis on recouvre ce rideau perméable, mais solide, de stores d'étanchement analogues à ceux dont nous avons parlé tout d'abord, et l'on peut ainsi obtenir, à l'aide de pièces maniables, résistance et étanchéité pour le relèvement des retenues qu'exige le nouveau programme de navigation intérieure.

Les aiguilles adoptées à Joinville-le-Pont ont jusqu'à 0.20 (0.11, et pèsent en bois de sapin 49 kilogrammes. Voici comment elles se manœuvrent:

Chaque aiguille (voir la petite planche, page 344) est munie d'un crochet par lequel elle embrasse la barre d'appui qui est de forme ronde. Sa longueur est assez considérable pour aller du radier à la barre d'appui, d'abord, puis ensuite pour se prolonger à 0<sup>m</sup>,60 ou 0<sup>m</sup>,70 au-dessus de la passerelle. Dans cette partie supérieure on diminue sa largeur, et on lui donne la forme de poignée.

Le barragiste, pour tendre sa retenue, prend chaque aiguille soit seul, soit avec un aide; et, la tenant à peu près horizontale, il place le crochet à cheval sur la barre d'appui, en laissant le pied s'immerger en vertu du poids de la pièce. Lorsque l'immersion, qu'il aide au besoin (si le bois est trop léger), est suffisante, le courant prend l'extrémité inférieure de l'aiguille et redresse celle-ci verticalement jusqu'à ce que le seuil l'arrête. Elle est alors en place. Il est bon de laisser un ou deux centimètres de trop en longueur à l'aiguille, pour qu'elle amortisse sa vitesse en frottant sur le radier; on évite ainsi des chocs préjudiciables au seuil et à l'aiguille ellemême.

Pour faire disparaître la retenue, le barragiste, placé sur la passerelle, et accompagné d'un cric léger porté sur roulettes, introduit le talon de la barre de cric sous la queue de chaque crochet, et soulève successivement les aiguilles, d'une quantité suffisante pour leur faire dépasser le seuil sur lequel elles s'appuient par le has. Le courant, alors, leur fait continuer l'arc de cercle qu'elles avaient décrit pour se mettre en place; et, pendant que la retenue s'efface, elles restent suspendues à la barre d'appai, avant leur entrémité inférieure flottante. Un bateau s'approche alors vers l'amont; et, une à une, les aiguilles sont calevées et remisées par son équipage.

La mamouvre est sire, et ue réclame pas un ouvrier exercé; elle se fait, il est vrai, pour la dépose, à l'aide d'un crie, mais ce crie est si léger qu'il demeure maniable, et sans exigences de solidité dans ses supparts. On peut, d'ailleurs, s'en dispenser et le remplacer par un simple levier, comme on le fait à Baurue depuis din uns ; l'apération, toutefois, est alors moins courante.

Elle se pratique très vite, à raison de deux on trois aiguilles par minute; il reste. il est vrai, à les enlever ensuite, mis la retenne est alors effacée, et le fait argent est affeint.

Le plus généralement, celle urgence ne se fait pas suir; en peut alors suivre les progrès de la crue, en enlevant et el là une nigurille, et en réque issant le commat sur un grad nombre de pointes, ce qui monage les rafiers. On s'afranchi également, par un choix judicieux d'ouvertures, de ces remus si génants que créent sur les écluses voisines les maneures hrusques des échapements. En un mot, en est très conventidement maître de la dispose des aiguilles.

La pose est mesi très facile. Elle est un peu plus lorget pour chaque niquille que si l'on se servait de pièces mons tourdes; mais, d'une part. Iospano formé par une posé aiguille correspond à coin qu'escapent deux a guilles et bais de 200; d'autre part, quand au déclin d'une cras, as tere une relation, ou n'est jumais presse; l'essentiel est de lier faire, pour ne pas avair à s'essenir, et le modat d'appi et, à ce point de vue, un practicire prissent.

Avec cu sessiono, no peut maintenir le niveau l'arentes pour ainsi dire à volonté.

L'est, quand l'est est rue, l'essemble des sees n'éniquilles donne une étambélé très satisfaisone; par qu'é ridour est continu, comme le semil une latte, un ét qu'é ferrious exagérees ne se lont pius senir. Vienne une crue, le barragiste peut, même livré à ses propres forces, retirer un ou plusieurs stores, enlever une ou plusieurs aiguilles, les remettre même au besoin; toutes les pièces demeurent maniables à la main, et c'est une grande sécurité. Les poignées des aiguilles elles-mêmes, en dépassant la passerelle, rendent service aux agents, parce qu'elles constituent une sorte de garde-corps qui a sa valeur surtout dans les manœuvres de nuit.

En somme, si l'expérience n'a pas encore prononcé d'une manière définitive, il est permis de dire que l'accroissement de dimension des aiguilles n'est plus, avec ce système, dans une certaine mesure au moins, un obstacle à son maintien, partout où les habitudes locales l'ont consacré avec des dimensions moindres.

358. Résumé sur le rideau de fermeture. — En résumé, la fermeture des barrages au moyen d'aiguilles est devenue de moins en moins facile, à mesure que la hauteur des retenues a augmenté. Les éléments du rideau, maniables au début, sont devenus ou trop lourds, s'ils étaient assez forts, ou insuffisants comme résistance, s'ils demeuraient légers. Ce rideau luimême s'est rendu de moins en moins étanche, soit en raison de la pression croissante des retenues, soit à cause des flexions résultant de sa faiblesse.

Les barres d'appui, les aiguilles de forme spéciale, les baches imperméables, la fermeture des joints par des corps flottants, sont des palliatifs du mal; toutefois ces palliatifs ont aussi leurs inconvénients; plusieurs d'entre eux ne sont même pas entrés dans la pratique; les stores d'étanchement semblent une des meilleures solutions.

Les stores de fermeture de M. Caméré, les panneaux de M. Boulé ont été imaginés en vue d'obtenir à la fois solidité, étanchéité et manœuvre facile. Le résultat a été atteint avec l'aide d'engins perfectionnés, qui doivent inspirer confiance, d'après les essais faits, mais qui ont enlevé au système primitif la rusticité, qui faisait une de ses qualités les plus appréciées. On n'a plus la possibilité, avec un homme seul, sinon d'effectuer la manœuvre complète (ce qui a toujours été

en dehors de la pratique), au moins de faire le plus urgent, en attendant de l'aide. On s'est écarté de l'idée mère, qui constituait la fermeture à l'aide d'un ensemble d'engins et d'opérations ne nécessitant chacune que la force d'un homme. Peut-être ce changement est-il une nécessité des grandes retenues; l'avenir l'établira. Le pregrès semble incontestable quand on est à portée d'ouvriers spéciaux et d'ateliers qui assurent un emploi continu des appareils mécaniques.

Ce progrès, toutefois, s'applique plutôt à des engins neufs qu'à des ouvrages anciens, tant par la manière dont les charges se trouvent réparties que par le nouveau rôle imposé aux fermettes. Il entraîne une rénovation de ces fermettes et un changement d'habitudes qui exige du temps et des ménagements.

Il n'est pas impossible, partout où le radier présente une solidité suffisante, de réaliser les conditions nécessaires de solidité et d'étanchéité, en adoptant de fortes aiguilles à crochet, comme organe de résistance, et des stores d'étanchement comme organe d'étanchéité. On rentre ainsi à la fois dans l'idée primitive et dans les habitudes du personnel; on fait un plus large emploi des ouvrages existants; et ne fût-ce que comme transition, ce système mixte, qui d'ailleurs présente de grandes facilités de manœuvre, semble se recommander à l'attention. L'expérience doit, du reste, largement intervenir dans les jugements à porter, et c'est sous la réserve de ses arrêts que nous émettons notre avis 1.

<sup>1.</sup> Une décision ministérielle du 14 juillet 1881 a prescrit l'application des aiguilles à crochet aux déversoirs des barrages de la Seine, en amont de Paris.

En outre, dans les Annales des Ponts et Chaussées de 1881, 2° semestre M. l'ingénieur Lavollée rend compte de la manœuvre courante des aiguilles à crochet, ainsi que des perfectionnements qu'il y a introduits.

## § IV

#### DES FERMETTES

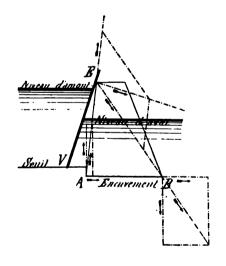
Passons maintenant à l'examen des fermettes qui constituent l'appui du rideau. Il est nécessaire de se rendre compte, tout d'abord, du genre d'effort auquel elles ont à résister sous les manœuvres que nous avons indiquées plus haut.

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

359. Pressions exercées par les aiguilles. — Si ce rideau se compose d'aiguilles appuyées par leur pied sur le

radier, la fermette n'est chargée que par sa tète; elle représente une pièce en porte à faux sollicitée par une force à son extrémité libre. Cette force, normale à la direction des aiguilles, s'applique à la barre d'appui, au point E. Là, elle se décompose en deux autres dirigées dans le sens des points d'appui A et B, sur lesquels doit se reporter son action; et l'inspection de la figure fait voir qu'il y a traction

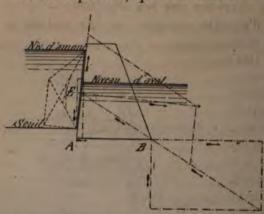
----



dans le sens EA et compression dans le sens EB. La fermette doit être combinée de façon à résister le mieux possible à ce double effort. En second lieu, traction et compression se transmettent au radier par les tourillons et les coussinets. Sur ces organes, chaque force se transforme en deux composantes, l'une horizontale et l'autre verticale; les composantes horizontales s'ajoutent et tendent à faire glisser la fermette en arrière, tandis que les composantes verticales sont de sens contraire; celle d'amont tend à arracher la pierre du seuil, celle d'aval tend à écraser le radier, et les dispositions à adopter doivent encore ici répondre à ces divers besoins.

360. Pressions exercées par les stores et les panneaux. — Si l'on a recours aux stores ou aux panneaux, le cas n'est plus le même. Appliquée directement à la fermette, la poussée de l'eau a un centre de pression, variable avec les hauteurs d'amont et d'aval, mais placé au centre de gravité du trapèze qui figure la pression totale, c'est-à-dire au point E.

Là cette poussée, qui est normale au rideau, se transmet



encore aux deux points d'appui A et B, et fournit comme tout à l'heure en A une force d'arrachement, en B une force de compression; cette dernière est nécessairement plus énergique que dans le cas pré-

cédent (toutes choses égales d'ailleurs) puisqu'il n'y a plus d'aiguilles pour prendre sur le radier un point d'appui spécial, indépendant de la fermette, et décharger ainsi cette dernière d'une portion de son fardeau.

Il y a en outre un genre spécial d'effort à supporter pour le montant d'amont de la fermette. Ce montant, en effet, n'est plus seulement soumis à une traction comme dans le cas des aiguilles; il a à supporter en plus une charge d'eau normale à sadirection, ce qui exige de lui une section transversale mieux armée. En un mot, dans ce second cas, la fermette est plus éprouvée, et l'est d'une manière un peu différente, ce qui influera encore sur son mode de construction.

361. Détermination de la valeur des efforts sur la fermette. — Toutefois, pour arriver à une composition rationnelle de cette fermette, il ne suffit pas de reconnaître le genre d'efforts qu'elle doit accomplir, il faut encore chiffrer ces efforts, et c'est ce que nous allons faire à présent.

Méthode graphique. — On peut d'abord, dans chaque cas particulier, user du procédé graphique qui est indiqué aux deux figures précédentes, et arriver à une connaissance suffisamment approchée de l'intensité des forces pour déterminer les dimensions des pièces.

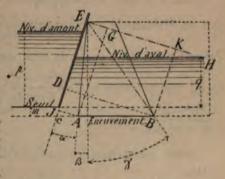
Méthode de calcul. — On peut aussi user du calcul, bien que les formules auxquelles on arrive soient un peu compliquées <sup>1</sup>.

Calcul dans le cas des aiguilles. — Cherchons d'abord la valeur des forces de compression et d'arrachement dans le cas

où l'on se sert d'aiguilles.

Appelons H la hauteur
de la fermette entre son
axe inférieur et la barre
d'attache sur laquelle reposent les aiguilles,

m, la hauteur du seuil qui limite le refouillement du radier dans lequel se logent les fermettes. Cette hauteur est



comptée comme l'autre à partir de l'axe des tourillons,

p et q les hauteurs d'eau en amont et en aval, au-dessus du seuil,

<sup>1.</sup> Dans tout ce qui suit, nous avons supposé les fermettes espacées de un mêtre afin d'avoir une donnée de moins à faire entrer dans les formules. Pour avoir les efforts correspondant à un espacement autre, il suffirait de rétablir la pression normale à son véritable chiffre.

a l'angle des aiguilles avec la verticale,

3 l'angle du montant d'amont de la fermette avec la même verticale,

γ l'angle, toujours avec cette même verticale, de la ligne qui va de la barre d'appui au tourillon d'aval.

La poussée totale sur l'aiguille sera donnée par l'expression  $\frac{p^2-q^2}{2\cos x}$ .

Le moment de cette poussée par rapport au pied de l'aiguille sera

$$\frac{p^*}{2\cos z} \times \frac{p}{3\cos z} - \frac{q^*}{2\cos z} \times \frac{q}{3\cos z} = \frac{p^2 - q^3}{6\cos z^2}$$

En divisant le moment par la force totale, nous aurons le point d'application de cette dernière, en sorte que le centre de pression se trouve à une distance de l'axe représentée par

$$\frac{p^{3}-q^{3}}{6\cos^{3}x} \times \frac{2\cos_{-2}x}{p^{3}-q^{3}} = \frac{p^{3}-q^{3}}{3\cos_{-2}(p^{3}-q^{3})} = \frac{p^{4}+p\,q+q^{8}}{3\,(p+q)\cos_{-2}x}$$

Quant à la force qui s'appliquera au point E, elle s'obtiendra en divisant le moment total  $\frac{p^2-q^2}{6\cos^2 x}$  par la longueur de l'aiguille qui est  $\frac{H-m}{\cos x}$ , de telle sorte que la barre d'appui reçoit une pression égale à  $\frac{p^2-q^3}{6\cos^2 x} \times \frac{\cos x}{H-m}$  ou en définitive  $\frac{p^2-q^2}{6(H-m)\cos x} = \varphi$ .

Voyons maintenant ce que produira cette force sur la fermette.

Si nous prenons les moments par rapport au point A, et si nous considérons l'équilibre qui doit avoir lieu entre la force e et la réaction verticale en B, nous en tirerons:

Réaction verticale 
$$\frac{\phi \times AG}{AB}$$
,  
mais  $AB = H$  (tang.  $\beta + tang. \gamma$ ).

D'autre part AG = CE — CJ. CE = 
$$\frac{H}{\cos \alpha}$$
; CJ = AC sin.  $\alpha$  et AC=H (tang.  $\alpha$  — tang  $\beta$ ). D'où AG =  $\frac{H}{\cos \alpha}$ [1 — sin.  $\alpha$  cos.  $\alpha$  (tang.  $\alpha$  — tang.  $\beta$ )]. D'où enfin

Réaction verticale = 
$$\frac{(p^z - q^3)[1 - \sin \alpha \cos \alpha (\tan \alpha - \tan \alpha \beta)]}{6 (H - m) \cos^2 \alpha (\tan \alpha \beta + \tan \alpha \gamma)}... (1)$$

Ce sera là la force verticale à laquelle devront résister le tourillon en B, et la crapaudine qui le supporte.

Pour connaître l'effort d'arrachement, nous prendrons les moments par rapport au point B et nous dirons :

Effort d'arrachement = 
$$\frac{\varphi \times BK}{AB}$$

mais BK = CE - CD. CE = 
$$\frac{H}{\cos z}$$
. CD = CB sin.  $\alpha$ . CB = H (tang.  $\alpha$  + tang.  $\gamma$ ). D'où BK =  $\frac{H}{\cos z}$  [1 - sin.  $\alpha$  cos.  $\alpha$  (tang.  $\alpha$  + tang.  $\gamma$ )] et:

Effort d'arrachement

$$= \frac{(p^3 - q^3) (1 \sin z \cos \alpha (\tan z + \tan z \cdot \gamma))}{6 (H - m) \cos^2 \alpha (\tan z \cdot \beta + \tan z \cdot \gamma)} \dots (2)$$

Ce sera là la force verticale ascendante à laquelle devront résister le tourillon en A, et la pierre du seuil dans laquelle s'encastre la crapaudine.

Pour avoir la compression non plus verticale, mais suivant EB, il suffit de diviser l'expression (1) par cos. γ. Le résultat de l'opération sera la valeur de la compression suivant la diagonale de la fermette.

L'expression (2) divisée par cos. β donnera la valeur de la tension imposée au montant d'amont de la fermette .

Si ces deux expressions paraissent un peu compliquées, nous ferons remarquer que cela tient à ce que trois angles interviennent dans les conditions d'équilibre. Rien qu'en adoptant

1. M. l'Ingénieur en chef Chemin nous a donné un procédé de calcul

Section 1

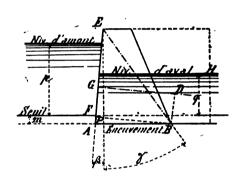
des fermettes à montant d'amont vertical, on a une grande simplification. En effet, si l'on fait  $\beta = 0$ , on a

Réaction verticale = 
$$\frac{p^3 - q^3}{6 (H - m) \tan g}$$
.

Effort d'arrachement

$$=\frac{(p^3-q^3)[1-\sin.\ \alpha\cos.\ \alpha\ (\tan g.\ \alpha+\tan g.\ \gamma)]}{6\ (H-m)\cos.\ \alpha\ \tan g.\ \gamma}$$

Et les formules se vérifient bien, car l'effort d'arrachement



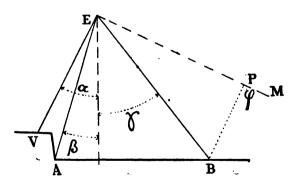
devient nul quand cos.  $\alpha = \sin \alpha \tan \beta$ .  $\gamma$ , c'està-dire quand tang. a tang.  $\gamma = 1$ , ou quand les angles α et γ sont complémentaires. En effet, il n'y a plus alors d'effort d'arrachement.

La réaction sur la diagonale devient à ce moment

$$\frac{p^3-q^3}{6\;(\text{II}-m)\sin.\;\gamma}\,\text{ou}\,\frac{p^3-q^3}{6\;(\text{II}-m)\cos.\;\alpha}$$

si les angles z et y sont complémentaires. Or c'est là préci-

plus simple et amenant à une formule calculable par logarithmes.



Appelons encore pla réaction normale aux aiguilles qui s'exerce en E. Construisons un triangle semblable au triangle de décomposition de 9 suivant BE et AE. Pour cela, menons BP parallèle à AE. Soient A

sément la valeur que nous avons trouvée pour la force ?, qui, n'ayant plus de composante suivant la direction AE, se transmet intégralement suivant la direction EB.

Détermination des efforts dans le cas où l'on emploie des stores ou des panneaux. - Dans le cas où l'on emploie des stores ou des panneaux, nous pouvons faire un calcul tout à fait analogue.

La poussée sur le rideau sera comme tout à l'heure  $\frac{p^*-q^*}{2\cos\beta} = \varphi$ .

En prenant les moments par rapport au point A, pour obtenir la rédaction verticale en B, nous écrirons :

Réaction verticale 
$$\frac{\varphi \times AG}{AB}$$
.

OF, AG = FG + 
$$\frac{m}{\cos \beta}$$
 =  $\frac{p^z + pq + q^z}{3(p+q)\cos \beta}$  +  $\frac{m}{\cos \beta}$   
AG =  $\frac{p^z + pq + q^z + 3mp + 3mq}{3(p+q)\cos \beta}$ 

$$q \times AG = \frac{p^{3} - q^{3} + 3 m (p^{2} - q^{3})}{6 \cos^{3} \beta}$$

éaction verticale = 
$$\frac{p^3 - q^3 + 3 m (p^4 - q^2)}{6 \text{ H (tang. } \beta + \text{tang. } \gamma) \cos^2 \beta} ... (3).$$
a réaction dans le sens de la diagonale de la fermette

exist: 
$$\frac{p^{z}-q^{z}+3 m (p^{z}-q^{z})}{6 \text{ H (tang. } \beta+\text{tang. } \gamma) \cos.^{z} \beta \cos. \gamma}$$

les forces qui s'exercent suivant AB et BE, nous aurons la relation :

$$\frac{\varphi}{\sin B} = \frac{A}{\sin E} = \frac{B}{\sin P}. \text{ MaisB} = \beta + \gamma, E = \frac{\Pi}{2} - (\alpha + \gamma)$$

D'ailleurs, sin. P = sin. BPM = sin. AEP = cos. VEA = cos. 
$$(\alpha - \beta)$$
.

Il suit de là la relation  $\frac{\varphi}{\sin.(\beta + \gamma)} = \frac{A}{\cos.(\alpha + \gamma)} = \frac{B}{\cos.(\alpha - \beta)}$ .

On en tirera:  $A = \varphi \times \frac{\cos.(\alpha + \gamma)}{\sin.(\beta + \gamma)}$  et  $B = \varphi \times \frac{\cos.(\alpha - \beta)}{\sin.(\beta + \gamma)}$ .

On en tirera: 
$$A = \varphi \times \frac{\cos. (\alpha + \gamma)}{\sin. (\beta + \gamma)}$$
 et  $B = \varphi \times \frac{\cos. (\alpha - \beta)}{\sin. (\beta + \gamma)}$ 

Les réactions verticales s'en déduiront aisément en multipliant ces expressions par cos. \$ et cos. y.

La force d'arrachement s'obtiendra en prenant les moments par rapport au point B; elle sera égale à  $\frac{\varphi \times BD}{AB}$ . Le moment  $\varphi \times BD$  sera une différence, c'est-à-dire  $\varphi \times AG - \varphi \times AP$ . Or,  $\varphi \times AG$  a été calculé tout à l'heure; c'est

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

AP = AB sin. 
$$\beta$$
 = H (tang.  $\beta$  + tang.  $\gamma$ ) sin.  $\beta$ 

$$\varphi \times AP = \frac{p^2 - q^2}{2\cos \beta} H (tang. \beta + tang. \gamma) \sin \beta$$

En divisant cette différence par AB, c'est-à-dire par H(tang. β + tang. α), on trouve pour effort d'arrachement:

$$\frac{p^3-q^3+3m(p^3-q^3)}{6\cos\beta\times \text{II (tang. }\beta+\tan\beta. \gamma)}-\frac{p^3-q^3}{2}\tan\beta. \beta... (4)$$

Il en résulte que l'effort d'arrachement serait égal à l'effort de compression diminué de  $\frac{p^{\epsilon}-q^{\epsilon}}{2}$  tang.  $\beta$ .

Enfin l'effort de compression et l'effort d'arrachement sont égaux pour  $\beta = 0$ . Leur valeur commune devient alors :

$$\frac{p^3-q^3+3m(p^2-q^3)}{6 \text{ H tang. } \gamma}$$

Nous avens donc, dans ce cas comme dans le précédent, les valeurs des forces qui agissent sur les fermettes, et les dimensions de celles-ci pourront être déterminées en conséquence, si c'est à ce moyen que l'onveut avoir recours.

362. Résumé et premières déductions. — En résumé, et pour déduire de tout ce qui précède une conclusion pratique, nous estimons que :

La force appliquée aux fermettes par l'intermédiaire d'aiguilles, de stores ou de panneaux donne naissance à trois genres d'efforts. Le premier tend à arracher la crapaudine d'amont; le second à écraser la crapaudine d'aval; le troisième à faire glisser la fermette de l'amont vers l'aval.

Dans le cas où l'on se sert d'aiguilles, le montant d'amont

de la fermette ne travaille qu'à l'extension ; l'effort de compression est dirigé suivant la diagonale qui réunit le point

d'application de la force à la crapaudine d'aval.

Dans le cas où l'on utilise des stores ou des panneaux, le montant d'amont travaille encore à l'extension, mais il supporte en outre une pression répartie sur sa longueur, proportionnellement à la profondeur d'immersion; cette pression se transmet, par la fermette, de chacun des points où elle s'exerce à la crapaudine d'aval.

Plus la base de la fermette est large, moins les efforts

transmis aux points fixes sont considérables.

La base de la fermette ayant une largeur donnée ( $\beta + \gamma$  étant connu), il y a généralement avantage à ce que son montant d'amont soit vertical, l'inclinaison la plus grande possible étant réservée à la diagonale qui va du point d'application de la force à la crapaudine d'aval ( $\beta = 0$ ,  $\gamma$  maximum).

Autres genres d'efforts à faire supporter aux ettes. — Les efforts que nous venons de signaler et d'éver ne sont pas les seuls qu'ait à supporter une fermette; il faut encore qu'elle offre une résistance suffisante normale-tau plan dans lequel agissent les forces que nous avons en sagées.

n effet, même sous la charge de la retenue seule, elle ne smet également aux points d'appui les pressions qu'elle cit qu'à la condition de ne pas se gauchir. Si elle vait se déformer, les calculs que nous venons de dévelopseraient inapplicables, et la résistance sur laquelle on apte disparaîtrait. Il faut donc, d'abord, que le bâti métal-

li que ait une rigidité suffisante pour ne pas se voiler.

En second lieu, pendant la manœuvre d'abattage et de relèment, chaque fermette, soutenue par le haut au moyen une chaîne et fixée au radier par ses tourillons, est dans la Position d'une pièce large et mince appuyée par ses extrémités, et abandonnée à son propre poids dans sa partie intermédiaire. Les manœuvres du barrage ne sont pas, d'ailleurs, toujours lentes et douces ; souvent une chaîne, un levier, un obstacle quelconque force à les rendre énergiques, et il s'ensuit des efforts transversaux plus ou moins considérables sur la fermette, efforts qu'elle doit pouvoir supporter, et qui, comme la résistance au voilement, exigent une certaine épaisseur des pièces dans le sens de la fatigue, c'est-à-dire dans

un plan perpendiculaire au cours de l'eau.

Or, la superposition nécessaire des fermettes, lorsqu'elles sont couchées dans le refouillement du radier, exige au contraire que cette épaisseur soit la moindre possible, en sorte que l'on se trouve placé en face de conditions un peu contradictoires. Si l'on donne aux fermettes une grande épaisseur, on est obligé ou d'exagérer la hauteur du seuil, on de les espacer davantage, ce qui les surcharge et conduit à les faire plus lourdes. Si on veut diminuer l'épaisseur en maintenant la résistance, les flexions sont toujours à craindre, parce que le poids croît proportionnellement, la portée et la dimension transversale restant les mêmes. En un mot, on se trouve en face de doutes, au sujet desquels on ne peut conseiller qu'une chose, c'est d'imiter les fermettes qui ont réussi dans des conditions analogues de régime du cours d'eau.

Un exemple fera mieux comprendre l'incertitude qui s'attache nécessairement aux prévisions en semblable matière.

Au barrage de Port-Villez, on avait prévu de très fortes fermettes représentées sur la figure principale de l'article 355 avec cette différence que la traverse inférieure qui porte les tourillons, au lieu d'être cylindrique et massive, avait une forme parallélipipédique et creuse, affectant de plus grandes dimensions apparentes. L'encuvement dans lequel se logent les fermettes était d'ailleurs très profond, et, après une longue suite de beaux temps, d'assez forts dépôts s'étaient amassés au pied du seuil, euveloppant les tourillons d'amont.

Une crue étant survenue, on coucha les fermettes en les renversant. Quelques-unes d'entre elles, alors, appuyant leur traverse inférieure sur les dépôts, tandis que le tourillon était maintenu par la crapaudine, restèrent avec toute leur partie supérieure en porte à faux, et se cassèrent; elles furent trouvées hors de service quand on voulut rétablir la retenue. Il est aisé de comprendre qu'en face d'accidents de ce genre, si la résistance est une qualité, le poids est un défaut; en sorte

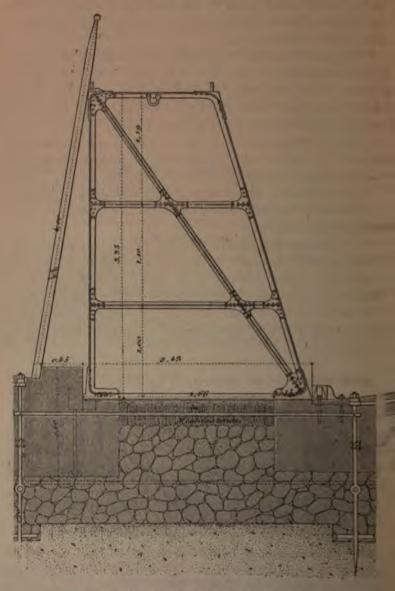
que l'avantage est à la pièce, non-seulement la plus légère pour sa résistance, mais encore qui n'oblige pas à adopter des dispositions susceptibles de faire naître ou d'accroître les dépôts. Avec les données complexes qui entourent la question, les expériences faites et la sagacité de l'ingénieur sont les seuls guides possibles : ce qui convient sur un point peut être inapplicable sur un autre, et les données sont trop multiples, trop complexes, pour qu'une règle nette puisse être posée. Il nous paraît préférable de passer en revue un certain nombre de fermettes et d'en faire ressortir les avantages et les inconvénients.

364. Fermettes primitives de M. Poirée. — La fermette primitive de M. Poirée (voir la figure de l'article 336) était en fer carré de 0<sup>m</sup>,04 de côté. Elle affectait la forme d'un trapèze à face antérieure verticale, et était rendue invariable par un bracon diagonal que reliait au montant d'amont une courte entretoise; la base avait comme largeur les 80 centièmes de la hauteur; la fermette était le plus généralement composée d'éléments soudés ensemble et ne formant qu'une seule pièce. Son poids était aux environs de 140 kilogrammes, mais il convient de dire que la hauteur dépassait rarement 2<sup>m</sup>, et que la chute à supporter était de 4<sup>m</sup>,30, 4<sup>m</sup>,50, 4<sup>m</sup>,80 au maximum.

Dans ces limites d'effort, l'agencement ne laisse rien à désirer. Rigide et bien liée, la fermette peut se manœuvrer avec sécurité. Les deux efforts d'extension et de compression sont reçus avec deux éléments (le montant d'amont et le hracon) qui vont directement du point d'application de la force aux points fixes du système, c'est-à-dire aux tourillons. Le rapport de la base à la hauteur est avantageux et réduit l'effort d'arrachement qui est le plus dangereux pour les maçonneries. La construction est simple et courante; en somme, pour les besoins de l'époque, il paraît difficile de faire mieux.

365. Fermette de la Meuse ardennaise. — La fermette ordinaire de la Meuse ardennaise a 2<sup>m</sup>,40 de hauteur, 4<sup>m</sup>,60 de

## BARRAGE DE MARTOT



Fermette et partie du radier. (Échelle : un quarantième.)

base, et supporte une retenue de 1<sup>m</sup>,80 environ. Elle est constituée par un cadre en cornières doubles que relient un bracon et trois entretoises en fer U. L'assemblage s'effectue à l'aide de rivets qui fixent les pièces entre elles et à des goussets en tôle à tous les croisements.

Le rapport de la base à la hauteur est de 0<sup>m</sup>,66, proportion moins avantageuse que celle que nous indiquions tout à l'heure. La transmission de l'effort de poussée aux points fixes s'exerce encore ici d'une façon complètement directe, et le paids total est d'environ 436 kilogrammes.

La base est constituée par un fer rond, ce qui permet à la fermette d'évoluer, même quand elle est entourée de dépôts, pourvu que ces dépôts soient un peu meubles.

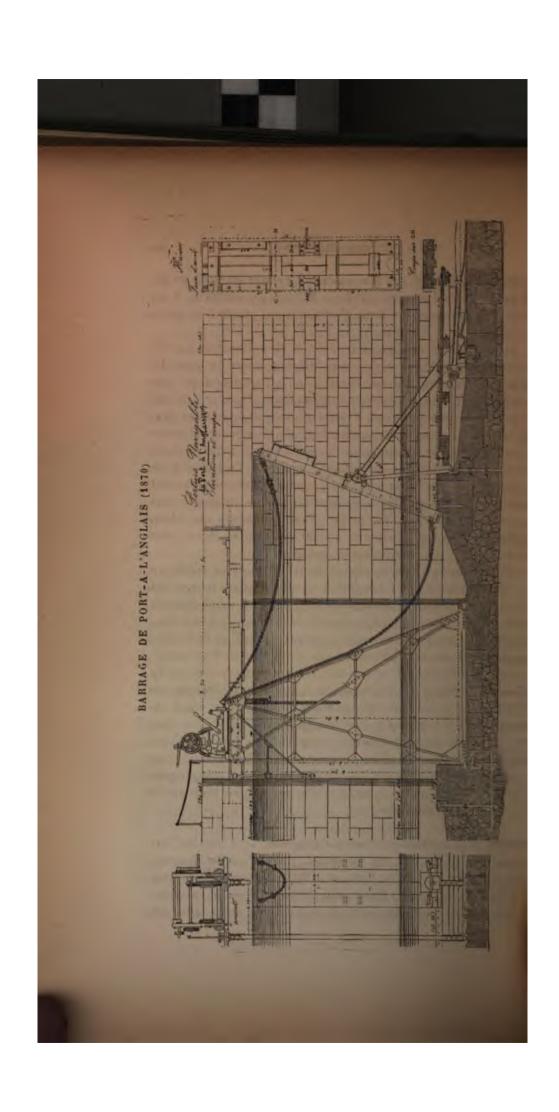
La construction est courante, facile, et le système présente à la poussée d'amont et d'aval une résistance évidemment très largement suffisante.

Dans le sens transversal, c'est-à-dire pendant les manœuvres d'abattage et de relevage, la résistance semble moins assurée contre une flexion générale de la pièce, dans le cas où un obstacle quelconque viendrait à causer soit un porte à faux, soit un effort violent au relevage. Néanmoins, nous nous hâtons d'ajouter que rien jusqu'ici n'a justifié cette appréhension.

366. Fermette de Martot. — La fermette de Martot a 3,35 de hauteur pour 2,48 de largeur à la base, ce qui donne un rapport de 0,70. Le cadre est formé d'un fer à T, le bracon et les entretoises de fers en croix (voir la petite planche de la page 360) et le tout est assemblé par des goussets. Quatre équerres en fer forgé, aux quatre angles du trapèze, ajoutent à la rigidité du système.

La chute atteint 3<sup>m</sup>, à de certains moments, et le poids de l'engin est de 212 kilogrammes.

367. Fermettes de la Meuse belge. — Les fermettes de la Meuse belge, combinées dans un autre ordre d'idées, nous paraissent non moins bonnes. Elles ont 4<sup>m</sup> de hauteur et 2<sup>m</sup>.54 à la base, offrant ainsi, comme les précédentes un rap-



369. Fermette du barrage de Villez. — La fermette du barrage de Villez, sur la Seine, est de dimension encore plus grande (voir la première petite planche de l'article 355). Sa hauteur est de 5<sup>m</sup>,42, sa largeur à la base de 4<sup>m</sup>,50 (0,83 de la hauteur). Sa partie supérieure s'élargit en plateforme de 2<sup>n</sup>,75 pour recevoir une double voie ferrée sur laquelle circulent les treuils de manœuvre. Les montants d'amont et d'aval sont inclinés sur la verticale, et l'axe de rotation est formé d'un cylindre massif en fer forgé de 0<sup>m</sup>,125 de diamètre.

Le montant d'amont est relié au montant d'aval par la traverse supérieure, deux traverses intermédiaires équidistantes et trois bracons reportant les pressions du montant d'amont au montant d'aval. Toutes ces pièces sont très puissantes. Les dessins donnent les coupes diverses à l'aide desquelles on peut reconnaître le mode d'assemblage des fers spéciaux qui les constituent. On remarquera que l'échantillon de ces fers va constamment en augmentant du sommet à la base, et que néanmoins les assemblages sont aussi sûrs que si les types étaient uniformes. Les montants sont reliés à l'axe de rotation d'une manière très énergique et très simple vers les deux tourillons, et toute la fermette fonctionne bien comme une pièce unique rigide dans les deux sens, ne pouvant ni se renverser ni se voiler.

Le poids s'élève à 1975 kilos. Toutefois, il faut remarquer que la chute est de 3 mètres, que la hauteur mouillée de la fermette à l'amont est de 5 mètres, et que, par conséquent, les pressions d'eau comparées à celles que supportent les fermettes que nous avons passées en revue deviennent de plus en plus considérables. Ajoutons que la nécessité de faire circuler, sur tout le barrage, des treuils lourds et puissants conduisait ici à donner aux pièces une masse dont elles avaient moins besoin ailleurs.

Ces fermettes semblent solides et bien conçues; on ne voit pas, surtout avec les dimensions de leurs parties constituantes, quel serait le point faible. Au point de vue du principe, on pourrait peut-être reprocher aux bracons de reporter la pression des stores sur le montant d'aval, au lieu de la transmettre directement à son tourillon. De cette transmission indirecte

pourraient naître des déformations qui fausseraient complètement les hypothèses initiales sur la manière dont résiste chaque pièce; ce serait là un danger si l'ensemble du système n'avait pas une puissance mettant comme à Villez à l'abri de déformations.

370. Fermettes à treillis. — Dans cet ordre d'idées, fermette la plus rationnelle pour supporter un rideau qui appuie directement (comme le font les stores de M. Camé ou les vannes de M. Boulé) nous semblerait être celle où montant d'amont serait relié au montant d'aval par de simp le croisillons. En somme, la fermette n'est qu'une console, re vant une charge normale à son montant d'amont, et la me il leure manière de résister à cet effort doit être de donner a le pièce la forme d'une véritable poutre en porte à faux.

Nous ne croyons pas qu'il y ait lieu de se préoccuper ou tre mesure du poids; l'expérience prouve que le poids de la fermette n'est pas, dans de certaines limites, une des difficultés de la manœuvre, tandis que les accidents sont, au contraîre, une cause fréquente d'embarras sur les barrages; il faut done avoir des organes solides, sûrs, et auxquels on n'ait à touch er que le plus rarement possible. Quant au prix d'établissement, il peut être compensé par une plus grande durée et un mointre prix du kilogramme; de telle sorte que notre conclusion sera qu'il n'y a pas lieu de risquer quoi que ce soit de la solidité pour obtenir une légèreté exceptionnelle. Mieux vaut constituer les fermettes d'éléments plus robustes, dût-on diminuer le nombre de ces organes, et assigner à chacune d'elles une charge plus forte. Il est rare, du reste, que l'on ne gagne pas à suivre cette marche dans toutes les constructions en fer.

371. Tourillons et erapaudines. La fermette, telle que nous venons de la décrire, s'ajuste au radier par deux tourillons cylindriques qui lui permettent de décrire son mouvement de rotation. Ces tourillons sont de diamètres assez faible; on leur a donné sur la Meuse ardennaise 40 millimètres, à Martot 60, sur la Meuse belge 65, à Port-à-l'Anglais 60 et à Villez 95. La longueur est à peu près partout d'une dizaine de centimètres.

La crapaudine d'amont est une simple pièce de fonte fixée au radier et percée d'un trou pour recevoir le tourillon d'amont, qui y entre avec jeu d'un centimètre environ. Quant à la cra-

paudine d'aval, elle est évidée dans sa partie supérieure de façon à laisser le tourillon s'asseoir dans la cavité ménagée à cet effet, cavité que l'on referme ensuite à l'aide d'un coin en bois ou d'une clavette.

Grace à cette disposition, souvent reproduite avec quelques différences peu sensibles, il suffit qu'un plongeur enlève la clavette ou le coin de la crapaudine d'aval pour que, grâce au jeu de celle d'amont, la fermette puisse être détachée du radier ou remise en place à volonté. Si le coin est au contraire dans sa coulisse, la fermette est prisonnière et ne peut plus que tourner autour de son axe. L'organe de résistance peut donc être lui-même posé et déposé sans difficulté, pourvu qu'on l'affranchisse de la pression qu'il a à supporter, soit en effaçant la retenue, soit en reportant le poids sur les fermettes voisines.

Crapaudine d'amont d'une fermette.
Élévation.

Coupe sur l'ave

372. Barres d'attache. — Les barres d'attache, destinées à établir la solidarité entre toutes les fermettes, sont en outre un élément résistant dans les barrages à aiguilles, puisque ce sont elles qui reçoivent et transmettent aux fermettes la poussée de l'eau. Le plus souvent, ce sont de simples barres méplates percées d'un œil à chaque extrémité, qui relient deux à deux les fermettes à l'aide d'un goujon en fer adhérent à chaque fermette et s'engageant dans cet œil. Parfois on a employé des fers spéciaux. Dans la Meuse belge cette barre d'appui a reçu une forme de solide d'égale résistance, et des dispositions telles qu'elle puisse servir à l'échappement que

nous avons décrit plus haut. Dans chaque cas, le calcul est facile, puisque la barre d'attache résiste comme une pièce reposant sur deux appuis et pressée par une charge uniformément répartie, facile à évaluer.

Il est sage toutefois d'augmenter la dimension de cette pièce au-delà du nécessaire, en raison des vibrations qu'elle reçoit des aiguilles, quand on se sert de ce mode de fermeture. Sous-

Barres d'attache des fermettes (Martot).



l'action de la lame d'eau qui s'échappe entre les aiguilles, lorsque par suite d'enlèvements successifs l'écoulement a pris une certaine importance, il se produit de véritables trépidations qui augmentent les flexions et permettent aux aiguilles de se déplacer spontanément. C'est un effet qu'on ne peut empêcher, mais qu'on diminue notablement en accroissant la résistance des pièces, et notamment celle des barres d'appui.

Dans le cas où l'on se servirait d'aiguilles à crochets analogues à celles dont nous avons parlé (barrage de Joinville), la barre d'appui devenant un organe de manœuvre a encore davantage besoin d'être plus forte, et il convient de lui donner une section ronde.

Tout ce que nous venons d'exposer s'applique à la barre d'appui d'amont; une autre barre analogue règne à l'extrémité supérieure d'aval des fermettes, de façon à rendre celles-ci parfaitement solidaires. Nous n'avons pas besoin de dire que cette seconde barre n'étant qu'une simple haison n'est pas soumise aux mêmes sujétions, et peut avoir une forme quelconque.

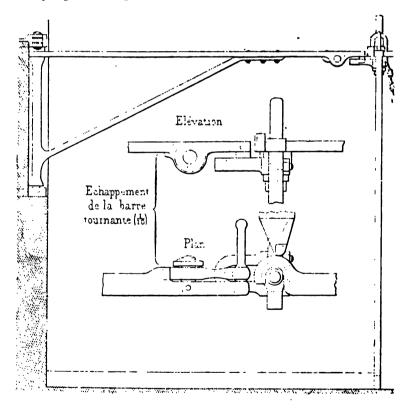
373. Voie de fer de service. — Entre les barres d'attache règne une voie de fer sur laquelle circule un treuil de manœuvre. Cet engin additionnel offre une grande commodité pour le cas, très fréquent, où la main de l'homme devient insuffisante. Il est indispensable dès que la fermette par ses dimensions dépasse notablement 3 mètres; et, en tout état de cause, rend les plus grands services toutes les fois qu'une circonstance quelconque augmente les résistances normales. A Villez, où le développement du barrage et la manœuvre des stores exigent l'emploi de treuils lourds et perfectionnés, on a dû multiplier les treuils et placer deux voies de fer avec des plaques tournantes pour assurer le service dans le temps vouln.

374. Chaines d'attache des fermettes. — Chaque fermette est attachée à sa voisine par une chaîne. Grâce à cette chaîne, dès qu'une fermette est debout et reliée à celle qui la précède par la passerelle, on a entre les mains le moyen de relever la suivante, et de reconstituer ainsi le barrage, élément par élément; la dernière chaîne est fixée à la culée, et sert de point de départ.

C'est là le procédé le plus généralement employé, et il a quelques inconvénients. Il arrive parfois que les chaînes (lesquelles ont beaucoup de mou quand les fermettes sont couchées), poussées par les courants rapides qui se font sentir au fond des passes, s'engagent, soit entre elles, soit avec les montants des fermettes, soit le plus souvent avec les menus objets, outils ou leviers, qu'on a laissé tomber à l'eau pendant les manœuvres. On a beaucoup de peine alors à rétablir les choses en ordre; et, si nous citons ce fait, c'est pour que toutes précantions soient prises en vue d'éviter ces petits accidents qui se traduisent par des retards au moment le plus gênant.

A plusieurs barrages, sur la Seine notamment, on s'est dispensé de placer des chaînes pour la manœuvre des fermettes, et l'on s'est contenté de saisir ces organes à la gaffe pour les relever. Il est certain que la disposition est plus simple, mais elle exige des hommes exercés, car pour peu que les courants soient rapides et les eaux un peu profondes, le maniement de la gaffe cesse d'être facile. En outre, elle comporte la chute de la fermette dans le radier, chute qui peut être accompagnée d'avaries, s'il y a quelque porte-à-faux. Or, ces avaries ont chance de passer inaperçues jusqu'au moment du relevage, et c'est une des éventualités qu'il convient surtout d'éviter. A notre époque où les retenues tendent à devenir de plus en plus hautes, nous estimons qu'il est préférable de conserver l'habitude des chaînes, avec les précautions qui s'ensuivent. En général, plus les organes sont grands, plus il convient de les manœuvrer lentement et sûrement.

375. Logement de la dernière fermette. — L'usage a été jusqu'ici d'espacer les fermettes de 1<sup>m</sup> à 1<sup>m</sup>,10, et il s'en-



suit que la dernière fermette (celle qui s'abat la première et

se relève la dernière) n'a pas la place suffisante pour se coucher sur le radier.

On v remédie, tantôt en creusant une niche dans la culée, tantôt en faisant usage d'une barre tournante (page 370), tantôt en combinant l'une et l'autre disposition pour rendre la niche moins profonde, et la barre moins longue. Le barrage doit être disposé de telle sorte que les fermettes se relèvent en partant de la maison éclusière, et s'abattent en ordre inverse. Si donc la fermette la plus éloignée est voisine d'une culée, rien n'empêchera de recourir à une niche de grande dimension, comme à Martot; si, au contraire, c'est une pile que l'on est conduità entamer, il conviendra d'accroître la barre d'appui, en longueur et en dimension. Observons en passant que l'emploi de vannes ou de stores se prête un peu moins bien que celui des aiguilles à ces modifications exceptionnelles que l'on est parfois obligé d'accepter, soit dès le début, comme dans le cas actuel, soit à la suite d'avaries et pour cause de réparations.

376. Passerelle de manœuvre. — Avec des fermettes espacées de 1<sup>m</sup>,10 la passerelle de manœuvre se réalise avec la plus grande facilité.

Tantôt ce sont de simples planches qui vont d'une fermette à l'autre et que des taquets empêchent de glisser (barrage de Port-à-l'Anglais); tantôt ce sont des tabliers métalliques qui adhèrent à chaque fermette et se replient lors de l'abattage sur la fermette, pour disparaître avec elle dans le refouillement du radier. Dans un cas comme dans l'autre, limitée à 1<sup>11</sup>,10, cette pièce n'apporte ni un grand poids ni une grande complication dans le système. Elle a en outre cet avantage de former une liaison invariable entre deux fermettes voisines et nous concevons qu'elle ait été adoptée sans hésitation sur la Meuse belge, où le système d'échappement exige impérieusement que tous les organes soient à leur place pour bien fonctionner.

Par contre, la manœuvre générale devient moins simple, les chances d'enchevêtrement des chaînes augmentent, et le poids additionnel (89 kilos pour la Meuse belge) est placé au mauvais endroit; il relève le centre de gravité de la fermette



## CHAPITRE XIV. BARRAGES POIRÉE

372

et qui est un défaut au moment de l'abattage ou du relevage. En somme, nous croyons que la passerelle adhérente a des avantages sérieux, lorsque l'on ne doit pas replier souvent le barrage et ouvrir la rivière en grand. Si, au contraire, la manœuvre complète doit être fréquente et rapide, la passerelle volante nous semble préférable.

377. Espacement des fermettes. — Les fermettes, avons-nous dit, sont en général espacées de 1<sup>m</sup> à 1<sup>m</sup>,10. plutôt par tradition que par nécessité, croyons-nous. Cette limite était imposée au début, alors que l'on tenait à ce que tous les organes fussent essentiellement rustiques et d'une manœuvre assurée à la main. Aujourd'hui que, peu à peu, les engins s'introduisent sur les barrages, avec les progrès de l'industrie qui a mis à notre disposition les fers spéciaux et les aciers pour développer la résistance sans augmenter le poids, il est probable qu'on trouverait avantage à diminuer le nombre des fermettes en les espaçant davantage. Les barres d'appui seraient plus longues, les rails de la voie ferrée auraient plus de portée, mais ces pièces parallèles pourraient se prêter un mutuel appui et rester maniables tout en devenant plus puissantes. On gagnerait, d'ailleurs, de grandes facilités de manœuvre, en réduisant le nombre des pièces noyées, fût-ce au prix d'un peu de gène pour le maniement des organes qui demeurent à sec. Les superpositions de fermettes seraient moindres, la hauteur du seuil pourrait s'abaisser d'autant ; et en somme il y aurait, croyons-nous, de sérieux avantages à entrer dans cette voie. Nous devons nous borner à cette indication en faisant même toute réserve, car en semblable matière l'expérience seule peut prononcer.

>.3

## § V DU RADIER

Nous avons vu quels étaient les efforts que subissait chaque fermette, traction du montant d'amont, compression du bracon ou du montant d'aval suivant la forme de la fermette, et poussée de tout le système de l'amont vers l'aval. Ces efforts se transmettent au radier par l'intermédiaire des crapaudines; et c'est, en somme, le radier qui doit fournir la résistance.

appression n'a rien qui doive préoccuper; le poids de la reue est toujours faible en comparaison de l'effort d'écrasement que peut supporter la maçonnerie, en sorte qu'il est de s'affranchir de toute crainte, à ce point de vue, en dont à la crapaudine d'aval une surface suffisante.

Il n'en est pas de même de la traction qui s'exerce par le ntant d'amont. Si l'on se bornait à compter sur la pierre de le du revêtement, on serait exposé à bien des déceptions. bord, ces pierres noyées perdent une partie notable de leur les; ensuite, on ne peut se flatter que les maçonneries set assez împerméables pour qu'une certaine sous-pression se fasse sentir, au moins ça et là, et n'aide au soulèvement en grand qui serait nécessaire, il suffirait de quelques déplacements pour que la destruction du système s'ensuivît.

Comme auxiliaires, on a pour soi l'adhérence des mortiers et la solidarité qu'il est possible d'établir entre pierres voisines, par leur coupe, pour les associer à la résistance commune; ce sont là, toutefois, des éléments inconnus, et il est toujours dangereux de compter sur une force qui n'est pas déterminée.

On a préféré recourir à des ancrages dans le béton, prendent le seuil solidaire de toute la fondation. Le prographoyé présente une certaine variété.

379. Ancrage de Martot. — A Martot, tout un système d'éclissage rattache le radier dans le sens longitudinal et dans le sens transversal, en même temps que des ancres descendent dans le béton et sont recouvertes par la maconnerie (voir la planche de la page 360).

380. Ancrages de la Meuse ardennaise et de la Meuse belge. — Sur la Meuse ardennaise les blocs qui composent le seuil sont scellés dans le béton par des ancres de fond, tandis que la crapaudine est ajustée à chaque bloc à l'aide d'un disque et d'un boulon.

Sur la Meuse belge, comme sur les anciens barrages de M. Poirée, les crapaudines d'amont sont logées dans une solide pièce de chène qui les rend solidaires. C'est, à la Meuse belge, cette pièce de chêne que des ancres de fond rattachent aux fondations.

381. Ancrage de Villez. — A Villez, la liaison est à la fois plus puissante et plus sûre. Les crapaudines d'amont se logent dans un seuil général en fonte qui s'attache comme elles à un bâti, en tôle, véritable plancher qui solidarise toute la fondation (planche de l'article 355) et se noie dans les maçonneries. Les solives de ce plancher, si nous pouvons nous exprimer ainsi, sont fixées par leurs extrémités d'amont à des ancres de fond qui s'attachent au radier, dans la partie pressée par le bief supérieur, de telle sorte que la résistance est complètement assurée.

On s'est évité en même temps l'emploi de ces gros blocs de pierre de taille qu'il fallait, dans les autres systèmes, descendre à leur place et sceller à l'aide de boulons rattachés à l'avance à des ancres noyées dans les fondations. Si l'on songe à la difficulté extrême que l'on éprouve à faire de bonne maçonnerie avec de gros blocs de pierre employés seuls, on concevra la valeur du procédé qui permet de ne pas s'imposer en outre la sujétion de faire traverser ces blocs par une tige de fer placée à un point déterminé, tout en reliant intimement ces matériaux encombrants au massif de fondation, pour éviter les filtrations.

382. Avantages des seuils et du bâti métalliques.—
Plus on ira, croyons-nous, et plus on entrera dans cet ordre
d'idées. On ajustera à l'usine toutes les pièces, fermettes,
crapaudines et seuils, et on réduira au minimum les raccords
à faire sur place. Quant aux scellements, il y aura toujours
avantage à en diminuer le nombre et à les rendre puissants.
On y gagnera en sécurité et en facilité d'exécution; on se dispensera d'employer des matériaux d'aussi forte dimension;
on augmentera la densité du massif; et, dans l'eau douce, la
durée sera tout aussi considérable.

383. Possibilité de construire des bâtardeaux.—
Il convient, d'ailleurs, de ne pas construire le radier des barrages trop étroit; nous voulons dire qu'il faut se réserver la possibilité d'établir des bâtardeaux pour le cas de réparation possible, surtout quand les passes sont profondes. C'est ainsi qu'à Villez on a scellé dans le radier des boîtes en fonte, susceptibles de recevoir les pieux de soutien d'un bâtardeau, à l'amont comme à l'aval. Les dispositions à adopter peuvent varier d'ailleurs avec les données locales, dont la principale est la profondeur de la passe au-dessous de l'étiage.

384. Inclinaison des aiguilles. - Lorsque l'on fait usage d'aiguilles, la pierre de seuil porte une entaille sur laquelle vient buter l'extrémité inférieure de l'aiguille. On donne à celte entaille une profondeur de 0m, 42 à 0m, 15 et on la place assez loin de la fermette pour que l'aiguille ait une inclinaison qui varie entre 1/4 et 1/10 suivant les circonstances. En effet si l'inclinaison n'est pas suffisante, et si le bois employé n'a qu'une faible densité, il peut arriver que les aiguilles placées les premières au déclin d'une crue, ne reçoivent pas de l'eau d'amont une pression suffisante pour se maintenir en place, sous les frottements des points d'appui. D'un autre côté, une forte inclinaison accroît la longueur ainsi que la portée; et nous avons vu que les efforts que supportent les aiguilles un pen longues dépassent déjà le maximum admis dans la plupart des cas. Il faudra donc tenir compte de ces circonstances diverses. On pourra aller jusqu'à une inclinaison de 1/4 avec

les aiguilles courtes et en sapin; on diminuera l'inclinaison pour des aiguilles longues et en chêne, mais nous ne pensons pas qu'il y ait jamais avantage à dépasser 1/10 si l'on veut que la manœuvre soit commode.

385. Garniture du seuil. — Le seuil est habituellement garni d'une ferrure sur laquelle se produit le choc du pied de l'aiguille, choc parfois assez fort, surtout quand on se sert d'aiguilles à crochet d'une grande largeur. Toutes précautions doivent être prises pour que les scellements de cette pièce de fer soient inébranlables, car son dérangement amènerait une grande perturbation dans les manœuvres. Sous ce rapport encore, les seuils entièrement métalliques peuvent être avantageux.

On a parfois donné à cette ferrure la forme d'une barre dentée, de façon que chaque aiguille y trouve sa place en quelque sorte marquée à l'avance, et puisse la prendre sûrement. Nous ne pensons pas que cette sujétion soit sans inconvénients: Avec le temps et les alternatives de sec et d'humide, les aiguilles peuvent se gauchir, se tordre, et accepter difficilement la place qui leur est assignée; il s'ensuivra des pertes d'eau ou des chevauchements qui deviendraient un embarras. Mieux vaut conserver une certaine latitude dans le rangement, sauf à aviser pour chacun de ces petits accidents qui ne peuvent manquer de se produire, quoiqu'on fasse.

386. Appuis de la crapaudine d'aval. — Nous avons vu que les fermettes sont soumises à un effort de poussée en arrière qu'elles transmettent au radier par leur crapaudine d'aval. Quand un encuvement véritable a été pratiqué dans le radier pour loger les fermettes couchées, le seuil d'aval de cet encuvement sert naturellement à recevoir la butée; mais, en revanche, les sables et les pierres entraînés par le courant demeurent emprisonnés. Or, la protection du seuil d'amont suffisant aux fermettes, on peut supprimer le seuil d'aval, et se borner à soutenir chaque crapaudine par une pierre en saillie sur le radier, laquelle laissera entre elle et ses voisines un passage libre aux dépôts. Toutefois, cette pierre isolée

mra bessin d'une plus grande résistance, et l'emplei du grand est indiqué partent où faire se peut.

A ce point de vue encare, les harrages places sur lités métallique noyé dans les fondations mettent mieux à même de supprimer la plupart des saillies, et de réduire à leur minimum celles que l'on est forcé de conserver.

Du reste, pour tout ce qui concerne les appareils mobiles ou ceux que leur manarauvre affecte, on doit se dire qu'il faut faire le plus durable possible, et néanmoins prévoir le cas d'un remplacement des organes à la suite d'avaries locales que l'on peut hien rarement éviter, au bout surtout de quelques années de service.

## § VI

## AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES BARRAGES POIRÉE

387. Avantages. - Pour résumer ce que nous avons vu des barrages à fermettes, nous mettrons en parallèle les avantages et les inconvénients de ce mode de retenue des eaux.

Simplicité et rusticité. Le premier des avantages est inconlestablement une grande simplicité de conception et une rusticité qui se prête à tous les besoins. Aiguilles, stores ou vannes, constituent un rideau qu'on enlève par pièces; et ces pièces sont toujours facilement maniables et renouvelables en opérant de la passerelle.

Facilité d'assemblage. Les fermettes restent en place, il est vrai, mais leur mouvement est aisé, et aussi assuré que peut l'être celui d'un organe noyé. Leur ensemble est rendu solidaire à volonté par des liaisons qui n'offrent aucune complication et permettent l'installation d'une passerelle, toujours utile sur une rivière.

Élasticité dans la hauteur de retenue. La retenue peut être

réglée à diverses hauteurs pourvu que la passerelle soit assez élevée; la stabilité reste assurée quelle que soit la variation de niveau, dans la limite de la résistance des pièces.

Répartition des courants à volonté. Les aiguilles répartissent le courant çà et là, ouvrant aux eaux un écoulement modéré que l'on peut d'ailleurs porter où l'on veut et augmenter, si on le juge utile, par l'enlèvement d'aiguilles voisines en nombre suffisant. Au point de vue de la conservation des radiers, de la rupture des remous et de l'enlèvements des dépôts, c'est une qualité précieuse.

Les vannes et les stores laissent la même liberté, et ont en outre l'avantage de permettre le déversement à la partie supérieure, ce qui est une garantie contre les submersions.

388. Inconvénients. — En face de ces avantages, on rencontre quelques inconvénients sur lesquels nous insisterons, afin de prémunir contre les dangers qui en résultent.

Défaut d'étanchéité des aiguilles. Nous ne parlerons que pour mémoire du défaut d'étanchéité; nous avons vu qu'on pouvait y remédier par l'emploi de stores d'étanchement sur les aiguilles. Nous rappellerons aussi que les vannes et les stores de retenue, en diminuant le nombre total de joints, atténuent les pertes dans la même proportion.

Lenteur de manœuvre. La manœuvre est un peu longue; il faut enlever le rideau quel qu'il soit, puis alors seulement coucher les fermettes d'une manière successive, et en s'assurant que chaque pièce est à sa place. Si une crue subite se fait sentir, il peut en résulter des embarras. Nous n'ignorons pas que les télégraphes, aujourd'hui, fonctionnent avec assez de régularité pour que l'on puisse être averti plusieurs heures, souvent même plusieurs jours à l'avance; néanmoins il y a des éventualités qu'il faut envisager, parce qu'elles sont inévitables dans une certaine période d'années et que l'on ne peut, par suite, espérer d'y échapper: Nous voulons parler des corps flottants et des glaces, qui accompagnent les crues et les débàcles.

Corps flottants. Les corps flottants apparaissent généralement d'une manière accidentelle et par cela même imprévue; tantôt ce sera un train de bois, attiré par les courants, qui viendra se jeter sur les fermettes; tantôt un bateau mal amarré dans le voisinage. Nous avons même vu, à la suite d'un très violent orage dans la vallée d'un affluent torrentiel de la Loire, un immense radeau formé de ceps de vigne et de haies déracinés, se jeter sur le barrage de Roanne, l'étancher, enchevêtrer les aiguilles et les fermettes et, en grossissant la retenue jusqu'au dessus de la passerelle, compromettre sériensement l'ouvrage. Il est certain que, dans ces cas, toute prévision est impossible; on ne peut dire qu'une chose, c'est qu'il est à souhaiter alors que les fermettes soient moins solides que les ancrages, de façon que les avaries n'atteignent que les pièces susceptibles d'être changées, sans désagréger les maçonneries. Il n'y a d'ailleurs d'autre remède au mal que la présence d'esprit du barragiste, en ces moments critiques, pour rendre l'accident le moins dommageable possible à l'aide des demi-mesures qu'il lui reste le temps de prendre.

Glaces. Lorsqu'un froid un peu vif se fait sentir, chacun sait que les bords des cours d'eau se prennent d'abord et que, sous l'influence de légères variations de niveau, les glaçons ainsi formés se détachent et suivent le fil de l'eau pour descendre sous la forme d'un vaste radeau, là où le courant exerce sur eux son action. Partout où ce radeau choque les bords congelés, il détache de nouvelles parcelles qui se joignent aux premières, et il en résulte une nappe flottante dont les fragments ne sont pas soudés, il est vrai, mais qui n'en possède pas moins une force vive très considérable; il ne faut

pas, par suite, qu'elle rencontre d'obstacles.

Voyons quelle peut être, à ce moment, la situation du bar-

Si le froid n'a pas été très vif, il se sera formé en amont un rideau d'aiguilles une couche de glace de faible épaisseur; n la cassera vite, on retirera les aiguilles, on abattra les ermettes, et on laissera passer les glaçons flottants. Le résultat sera atteint, mais non sans difficulté; les aiguilles seront ixées entre elles et aux barres d'appui; toutes les liaisons seront dans la même situation, et ce n'est qu'à coups de

masse qu'on en obtiendra la division. En outre, l'enlèvement des premières parties du rideau, en abaissant le plan d'eau, accélérera la vitesse d'écoulement, et les glaçons flottants se précipiteront dans l'issue qui leur est ouverte avec une force qui peut donner naissance à de graves avaries, surtout s'ils se présentent au pertuis avant que toutes les fermettes soient abattues; on s'en sera tiré néanmoins.

Mais si le froid a été très vif, la glace formée près du barrage est très épaisse; l'eau entre les aiguilles se congèle par l'aval, et la congélation se propage jusqu'à la face d'amont, de telle sorte que tout le rideau est emprisonné, solidaire et étanche.

Que peut-il arriver alors, si la rivière ne trouve pas d'autre issue? Évidemment les glaçons monteront les uns sur les autres, la retenue s'élèvera et les ouvrages seront à la merci d'une force irrésistible, aveugle, que l'on ne peut ni diriger, ni modifier; il peut en résulter de véritables désastres. Or, qu'on veuille bien le remarquer, cette situation peut se produire en une nuit, en quelques heures même, étant donné que le maximum de froid a presque toujours lieu au point du jour. L'éventualité, pour être rare, est cependant certaine et assurément redoutable.

Ces mauvaises chances n'avaient pas échappé à la profonde sagacité de M. Poirée, et à côté de tous ses barrages à fermettes il avait placé un large déversoir de superficie, qui assurait le passage des corps flottants. C'est donc sous son autorité même qu'on peut placer la crainte dont nous venons de parler, et si nous avons insisté autant sur ce détail, c'est non pour faire une critique, mais afin de faire comprendre la nécessité de se préparer à une manœuvre d'hiver, dès que la gelée menace, là où n'existe pas de déversoir.

En somme les barrages à fermettes sont des ouvrages simples, commodes, essentiellement pratiques. Ils ont été et sont encore un merveilleux instrument d'amélioration des rivières, surtout pour les retenues petites et moyennes.



#### CHAPITRE XV

## BARRAGES A RIDEAUX

soutenus par des parties mobiles suspendues à une poutre supérieure

#### SOMMAIRE:

389. Les grandes chutes. - 390. Barrage de Poses.

#### Petites planches:

Barrage de Poses: Élévation partielle d'aval, art. 390. — Profil en travers, art 390. — Rideaux articulés, ensemble et détails, art. 390. — Treuil différentiel, art. 390.

**289.** Les grandes chutes. — Nous avons vu, dans ce qui précède, que plus la retenue grandit plus la manœuvre des barrages à fermettes se complique. Les dimensions et le poids des fermettes croissent rapidement, les engins du rideau quels qu'ils soient cessent d'être maniables à la main. En fait, on n'a pas dépassé dans les applications une hauteur de 4<sup>m</sup> d'eau sur le seuil d'amont, avec une chute de 3<sup>m</sup>.

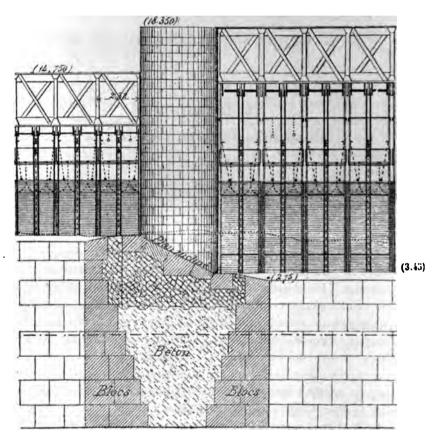
Il ne serait certainement pas impossible d'aller au delà, mais on hésite à se confier à des organes submergés de plus de cinq mètres d'eau, lorsque les engins qui doivent assurer les manœuvres se trouvent précisément à la partie inférieure et noyés à une semblable profondeur.

Sur le Rhône, où la question se compliquait de dépôts de cailloux qui auraient rendu les encuvements impraticables, M. l'ingénieur en chef Tavernier a eu l'idée de ne prendre sur le fond du lit qu'un simple point d'appui, et de suspendre les pièces mobiles à une poutre supérieure au cours d'eau. Les



382 CHAPITRE XV. BARRAGES A RIDEAUX

## BARRAGE DE POSES. — ÉLEVATION PARTIELLE D'AVAL



Passe déversoir.

Passe navigable.

organes de rotation se trouvaient toujours alors accessibles et visibles, et la manœuvre en devenait plus sûre. Un modèle de ce type figure dans la galerie de l'école des Ponts et Chaussées. On faisait ainsi retour, sur une très grande échelle, au système de barrage à vannes des petits cours d'eau, dans lequel vannes et coulisseaux disparaissent successivement lorsque l'on veut effacer la retenue.

390. Barrage de Poses. — Une application de ce système est en voie de réalisation sur la Seine, à Poses, entre Paris et Rouen <sup>†</sup>.

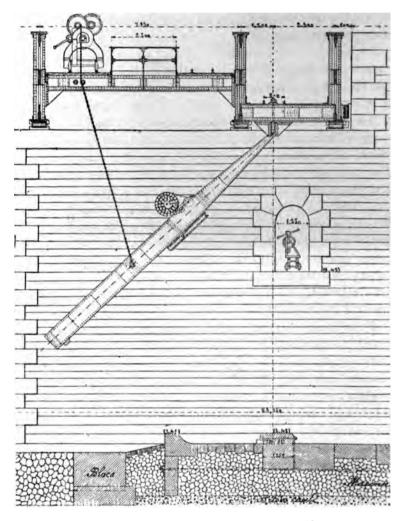
Le barrage se compose d'une série de passes, plus ou moins profondes, ayant 32<sup>m</sup>,50 d'ouverture, comprises entre des piles de 4<sup>m</sup> d'épaisseur qui supportent une passerelle à croisillons de 11<sup>m</sup> de largeur, placée à 5<sup>m</sup> environ au-dessus des plus hautes eaux navigables (voir la petite planche de la page 382). A la partie inférieure de cette passerelle, du côté d'aval, s'articulent de longues poutres en tôle qui pendent jusqu'au radier, et buttent, lorsqu'elles sont à peu près verticales, contre une saillie de ce radier. Ces poutres en tôle, ainsi appuyées à leurs deux extrémités, sont destinées à remplacer les fermettes, et à recevoir le rideau mobile étanche qui formera la retenue.

Pour rendre les eaux à leur cours naturel, il suffira d'enlever le rideau et de replier les poutres sous la passerelle, comme l'indique la seconde planche (page 384); la rivière sera alors absolument libre et il ne restera sur son seuil que des saillies insignifiantes, bien que ce seuil soit à 5<sup>m</sup> au-dessous du bief d'amont et que la chute ait 4<sup>m</sup>. En outre tous les engins mobiles pourront être réparés à volonté, puisqu'ils seront fixés à la passerelle supérieure qui domine de plus de 4<sup>m</sup> les plus hautes eaux connues.

Tel est l'esprit du système; nous entrerons dans quelques détails sur les ingénieux organes qui sont destinés à rendre les manœuvres courantes et pratiques.

<sup>1.</sup> MM. de Lagrené, ingénieur en chef, et Caméré, ingénieur ordinaire; puis Caméré, ingénieur en chef.

## BARRAGE DE POSES



Coupe transversale d'une passe profonde navigable.

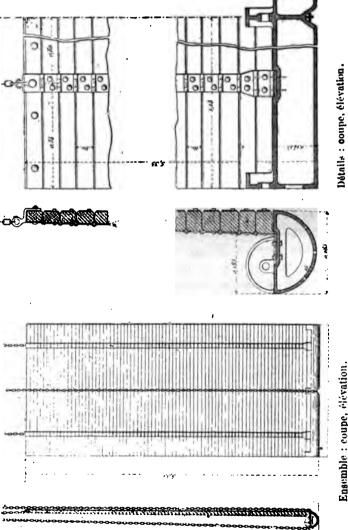
Tout d'abord les poutres pendantes sont accouplées quatre par quatre sur un même axe, ce qui donne à chaque cadre pendant une largeur de 2 mètres. Grâce à cette disposition le relèvement devient plus prompt et la ferme s'appuie sur le radier par une large base; on comprendra l'utilité de cette liaison, lorsqu'on se souviendra qu'il est à peu près impossible de poser une aiguille de champ contre le courant. Sans doute avec des engins mécaniques et des pièces en métal, on réussirait mieux qu'avec de simples madriers, mais il ne se produirait pas moins des effets de torsion qu'il vaut mieux éviter à des pièces qui ont près de 12 mètres de longueur, et qui résisteraient mal si elles n'étaient pas solidarisées.

Sur ces quatre appuis réunis se roule et se déroule du côté d'amont un large store, lequel dépasse un peu la largeur du cadre qui lui sert de support, de telle sorte que l'ensemble du cadre et du store, constituant un des éléments du barrage, occupe une largeur de 2<sup>m</sup>,30. Quatorze éléments semblables ferment la passe de 32<sup>m</sup>,48 de largeur, en laissant entre deux éléments consécutifs un petit espace vide, pour le jeu de deux stores voisins. Il y a bien là une légère perte d'eau qu'il ne serait pas impossible de fermer par un couvre-joint, si c'était nécessaire; mais la Seine roule assez d'eau même à l'étiage, pense-t-on, pour que cette précaution ne soit pas indispensable.

On peut ainsi, en cas de crue, relever les stores d'abord, puis ensuite les cadres et dégager toute la rivière; on peut n'enlever que les stores et laisser les cadres en place; on pourrait même, si quelque circonstance exceptionnelle venait à le réclamer, faire disparaître un ou plusieurs stores pris à volonté, puis un ou plusieurs cadres correspondants, en laissant tout le reste debout. On est donc aussi maître que possible de l'écoulement des eaux.

Quant à la manœuvre de ces divers engins, elle s'exécutera vraisemblablement avec facilité. Les stores seront roulés et déroulés au moyen d'un trenil qui circulera sur une passerelle mobile fixée à chaque cadre au niveau des plus hautes eaux connues (voir la petite planche ci-contre); le mouvement différentiel de sa chaîne, dont nous avons parlé à propos des stores

V. P. M. 189



Ensemble : coupe, élévation.

du barrage de Villez, donne les plus sérieuses garanties.

Voir les figures à la fin du paragraphe.

Le rideau relevé et fixé à son cadre, on repliera la passerelle mobile, et l'on mettra en action le treuil de la passerelle fixe qui relèvera le tout et l'amènera à la position horizontale. Là, chaque rideau viendra se présenter à une baie du plancher, où il sera aisé de le prendre et de le réparer, quand besoin sera (voir page 384). Ces divers engins, malgré leur puissance et leur poids, seront donc, comme nous le disions au début, toujours accessibles et visibles.

Une objection se présente toutefois naturellement à l'esprit. Qu'arriverait-il si des corps flottants ou des glaçons, survenus inopinément, venaient se masser contre le barrage et s'opposaient au relèvement des cadres, relèvement qui ne peut se faire normalement que de l'aval à l'amont, c'est-à-dire en refoulant les obstacles? Les habiles auteurs du projet ont prévu la possibilité de cet événement, qui ne peut d'ailleurs être que fort rare, et voici comment ils y parent.

L'axe de support de chaque cadre est attaché au plancher de la grande passerelle, non par des coussinets fixes, mais par des coussinets mobiles dans deux glissières. Ces glissières sont assez longues pour qu'il soit possible, en actionnant de forts écrous, de remonter chaque cadre plus haut que les appuis qui le buttent. Si donc on était surpris on pourrait soulever tout le barrage, élément par élément, et lui permettre de décrire, non plus de l'aval à l'amont, mais de l'amont à l'aval et sous l'action même de la retenue, la rotation nécessaire à l'écoulement des corps flottants et des glaces. On n'aurait donc à craindre ni un désastre ni des submersions imprévues.

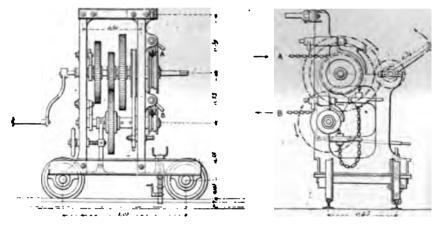
Il y aurait encore beaucoup à dire sur cette conception qui semble de nature à permettre l'établissement de retenues beaucoup plus fortes que celles que nous connaissons; mais nous ne devons pas perdre de vue que nous sommes ici en face d'un projet, en voie de réalisation il est vrai. Les ingénieurs sauront, nous n'en doutons pas, améliorer ce que l'exécution leur révélera d'imparfait, et arriver à un succès complet. Toutefois, l'expérience est le seul guide certain en semblable



#### CHAPITRE XV. BARRAGES A RIDEAUX

matiere, et jusqu'à ce qu'elle ait prononcé on ne peut énoncer de jugement que sous réserve de ses décisions, parfois totalement imprévues. Nous n'insisterons donc pas davantage, sachant que notre rôle est plutôt de décrire ce qui est, que de juger ce qui sera.

# BARRAGE DE POSES Treuil à mouvement différentiel pour la manœuvre des rideaux.



Vue de face.

. .

Vue de côté.

## CHAPITRE XVI

# BARRAGES A VANNES TOURNANTES

ARC-BOUTÉES SUR LE RADIER

#### SOMMAIRE:

§ 1. Exposé général: 391. Barrages de l'Isle. — 392. Barrage de Courbeton. — 393. Hausse Chanoine définitive: Position intermédiaire de l'axe de la hausse, chevalet mobile, manœuvre d'abattage, manœuvre de relevage, bateau de manœuvre. — 394. Essais de manœuvres spontanées: Spontanéité à l'abattage, spontanéité au relèvement. — 395. Limitation de la course des hausses. — 396. Etablissement d'une passerelle de manœuvre. § 2. Hausse ou vanne: 397. Système de construction. — 398. Vannes papillon. — 399. Dimensions et espacement des hausses. — 400. Obturation des joints.

- 399, Dimensions et espacement des hausses. — 400. Obturation des joints. — 401. Taquets fixés aux vannes.

3. Chevalet et arc-boutant: 402. Calcul des forces qui agissent sur la hausse et ses appuis. — 403. Influence de la hauteur de l'axe de rotation: insensibilité, scusibilité trop accusée. — 404. Forme du chevalet. — 405. Position du pied du chevalet. — 406. Arc-boutant. — 407. Articulation avec le chevalet.

§ 4. Barre à talons : 408. Description. - 409. Manœuvre. - 410. Contre-talons.

- 411. Observations.

5. Du radier: 412. Le radier des barrages Chanoine. — 413. Glissière. —

114. Largeur du radier. — 415. Ancrage des fermettes pour former double retenue. — 416. Usage du bois pour le seuil. — 417. Possibilité d'établir des bátardeaux.

5 6. Avantages et inconvénients du système Chanoine : 418. Grande facilité d'abattage. — 419. Basculement. — 420. Déversement. — 421. Equilibre de la battage. — 419. Basculement. — 420. Déversement. — 421. Equilibre de la bausse. — 422. Pression de l'eau évitée. — 423. Absence de danger. — 424. Étrachéité. — 425. Affouillements. — 426. Basculements spontanés. — 427. Arrêt de la barre à talons. — 428. Positions irrégulières des hausses. — 429. Étanchement du joint des hausses. — 430. Défaut d'élasticité au point de vas du régime des caux. de vue du régime des eaux.

5 7. Instruction sur la manœuvre des hausses mobiles du système Chanoine : 431. Manœuvre de relèvement : A. Manœuvre au moyen d'un treuil porté sur un bateau; B. Manœuvre au moyen d'un treuil placé sur une passerelle. — 432. Manœuvre d'abattage. — 433. Manœuvre des hausses pour régler

la retenue.

8. Barrage à hausses tournantes et arc-boutées de grande hauteur, se manœu-vrant sans barre à talons : 434. Barrage de la Mulntière. — 435. Avantages du système. — 436. Modifications dans la disposition des engins.

#### Figures :

Barrage de Courbeton, art. 392. — Chevalet mobile, art. 393. — Calcul des forces qui agissent sur la hansse et ses appuis, art. 402. — Barrage de la Mulatière : Abattage ou relèvement des hansses, art. 436.

#### Petites planches :

Barrage de Coly, sur l'Isle, art. 191. — Passe navigable de la Marne, art. 393. — Passe navigable de la haute Seine, art. 393. — Heurtoir et glissière Chanoine, art. 393. — Déversoir des burrages de la Haute-Seine, art. 395. — Barrage de la Madeleine (Haute-Seine); barre à thions, art. 498. — Barrage de Couzon (Saône), art. 412. — Barrage de la Mulatière ; glissière de M. Pasqueau, art. 434. — Manacuvre des fermelles, art. 436.

#### S To

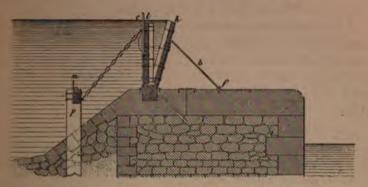
# EXPOSÉ GÉNÉRAL.

Dans les barrages que nous avons étudiés jusqu'ici, nous avons vu les engins mobiles se diviser en deux parties bien distinctes : le rideau, aiguilles, vannes ou stores, qui s'enlève toujours à part et hors de l'eau, puis les appuis du rideau qui tantôt se conchent au fond de la rivière, et tantôt se rattachent à une poutre supérieure par une manœuvre spéciale. Ces deux portions du système demeurant toujours indépendantes, on peut réunir les divers types sous la dénomination commune de « Barrages à parties mobiles soutenues par des appareils mobiles eux-mêmes, indépendants des premiers. »

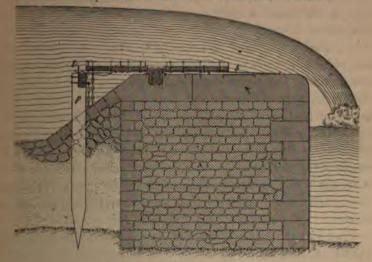
Dans ce qui va suivre, nous arrivons à des types où, an contraire, tout se tient, et où une manœuvre unique enlève tous les organes mobiles, attachés intimement les uns aux autres, pour les coucher tous à la fois sur le radier. Il y a néanmoins une transition, que nous devons faire connaître par un court historique.

391. Barrages de l'Isle par M. Thénard. — Les premières hausses tournantes ont été employées sur l'Isle par M. l'ingénieur en chef Thénard, pour diminuer la hauteur des barrages fixes et augmenter au besoin celle des retenues. Les

BARRAGE DE COLY, SUR L'ISLE (1839) Coupe transversale (les hausses étant levées).



Coupe transversale (les hausses etant abattues)



Échelle de 0m,018 pour un mêtre.



#### 392 CHAPITRE XVI. BARRAGES A VANNES TOURNANTES

dispositions adoptées sont indiquées sur la petite planche de la page 391. Elles peuvent se résumer comme il suit:

Sur le barrage, dérasé de niveau et couronné en pierre de taille, est incrustée une pièce de bois longitudinale. En amont du barrage, et un peu plus bas que le couronnement, règne une autre pièce également horizontale, reliée par des boulons à des pieux enfoncés dans le barrage même.

A la première sont attachées par des charnières, d'une part, les hausses h, et d'autre part les contre-hausses c; les premières sont maintenues contre la pression de l'eau par des jambes de force b, fixées aux hausses et buttant, de l'autre bout, contre un arrêt f scellé dans le couronnement du barrage.

Les contre-hausses, au contraire, sont maintenant levées par une chaîne à deux branches, lorsque la retenue les pousse; habituellement elles demeurent couchées par l'action des loquets *l*, placés à leurs extrémités.

En amont de l'arrêt f, règne sur le couronnement du barrage, et sur toute sa longueur, une barre de fer maintenue par des guides de manière à conserver un mouvement de va et vient, normal au cours de l'eau. Elle porte sur sa face d'aval des redans espacés à des distances qui croissent suivant une progression arithmétique dont la raison est de 0<sup>m</sup>,05. Ces redans ou talons sont disposés de manière à accrocher latéralement les jambes de force, lorsqu'on appelle à soi la barre, et à les faire échapper à leur arrêt. Le soutien manquant ainsi, les hausses s'abattent successivement, à partir de l'une des extrémités, à mesure que la barre a marché de 0,05, 0,10, 0,15, etc... Sur la lierne d'amont, une autre barre analogue lâche successivement les loquets qui tiennent les contre-hausses fermées.

Pour manœuvrer ces hausses et contre-hausses supposées rabattues, les premières dans le sens du courant, les secondes contre le courant, on tire la barre d'amont à l'aide d'un cric placé dans la culée. On dégage aussi les contre-hausses qui, par leur relèvement spontané sous l'action du courant, suspendent l'écoulement de la nappe, en relevant le niveau du hief. Immédiatement des ouvriers descendent sur le barrage et

dressent à la main les hausses qu'ils appuient sur leurs jambes de force et leurs arrêts, en demeurant sous l'abri des contre-hausses. Aussitôt que la retenue est pleine, les contre-hausses qui n'ont plus d'effort à supporter parce que les hausses les remplacent, retombent sur leur lierne, où elle se fixent par leurs loquets, et le barrage est tendu.

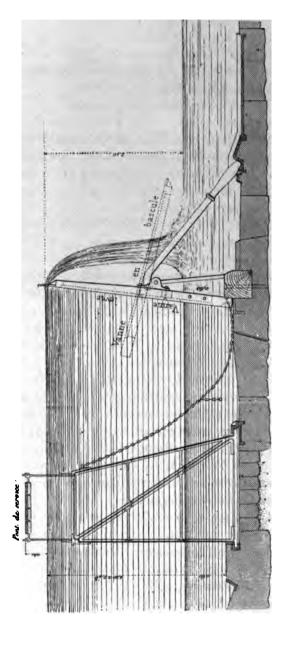
Pour l'effacer, on manœuvre la barre à talons d'aval; les hausses tombent, sans que les contre-hausses, toujours prisonnières, puissent se relever, et l'écoulement est libre.

Les barrages de M. Thénard, tout en ayant rendu des services sur l'Isle, n'ont pu se vulgariser parce qu'ils ne répondaient pas à toutes les sujétions qu'impose le besoin d'un niveau à peu près constant. Ainsi, au moment du déclin d'une crue, alors que la rivière, débitant encore beaucoup d'eau, le bief d'amont commençait à descendre au-dessous du niveau normal, le relèvement des hausses était à peu près impossible, parce que les contre-hausses ne protégeaient pas assez longtemps les ouvriers pour qu'ils eussent le temps de mettre les hausses sur leur appui. On était forcé, pour assurer le succès de la manœuvre, de laisser baisser la rivière au delà de ce que réclamait la navigation. De plus, les contre-hausses se relevaient violemment au courant, ébranlant le barrage et arrachaient leurs pieux d'attache. Bref, d'après M. Mary, le système employé ne diminuait que de 0<sup>m</sup>,40 la hauteur du barrage fixe, et c'était un effet utile trop minime.

392. Barrage de Courbeton. — Guidé par les conseils de M. l'inspecteur général Mesnager, M. l'ingénieur en chef Chanoine imagina d'emprunter à M. Thénard ses hausses, et de substituer aux contre-hausses un barrage mobile du système de M. Poirée. A l'aide de fermettes et d'aiguilles, il supportait la retenue d'une façon provisoire, comme on le faisait avec les contre-hausses; pendant ce temps deux hommes, de la passerelle, relevaient les hausses, tandis que d'autres ouvriers placés en aval les appuyaient sur leur arrêt. Ce fut là le barrage de Courbeton. On y ajouta même une courte dérivation dans laquelle, lorsque le bief était trop élevé, les eaux se déversaient sur une petite roue hydraulique qui devait mettre en jeu la barre à talons et renverser les hausses dès qu'il y

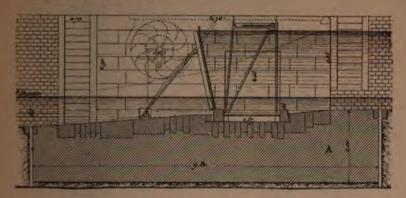


# 394 CHAPITRE XVI. BARRAGES A VANNES TOURNANTES



PASSE NAVIGABLE DE LA MARNE (1852)

aurait trop plein. Le barrage devait être ainsi automoteur pour la manœuvre d'abattage.



Barrage de Courbeton.

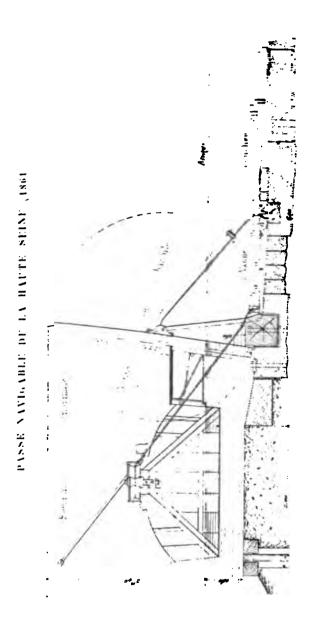
393. Hausse Chanoine définitive. — Enfin, en 1857, M. l'ingénieur en chef Chanoine d'une part et M. l'ingénieur Carro d'autre part, eurent l'idée du mécanisme ingénieux qui porte aujourd'hui le nom de M. Chanoine, et qui a reçu des applications si nombreuses qu'il marche de pair, dans la pratique, avec le système Poirée.

Position intermédiaire 'de l'axe de la hausse. — La hausse destinée à tendre les eaux, au lieu d'être mobile autour de sa base, tourne autour d'un axe placé aux environs de son centre de pression et s'appuie par le bas, lorsqu'elle est debout, sur un seuil ménagé dans le radier (voir les petites planches des pages 394 et 396). Il résulte de cette première disposition que, tant que l'eau est basse, la pression qui s'exerce sur la culasse ou partie inférieure domine la pression qui s'exerce sur la volée, ou partie supérieure, et la hausse reste debout. Si au contraire le niveau s'élève assez pour que la volée (qui est toujours plus longue que la culasse) devienne la plus chargée, la hausse bascule et s'évite au courant, en ouvrant le passage qu'elle fermait tout à l'heure.

Chevalet mobile. — Toutefois, si la hausse demeurait là, le problème ne serait qu'à moitié résolu, puisque la position qu'elle occupe ferme encore le passage aux bateaux, aux



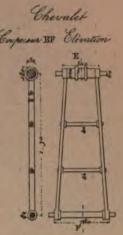
# DE CHESTIFE DV CARPAGE A CONESTITEMENTES



trains de bois, aux corps flottants immergés, en un mot à tout ce qui peut emprunter la passe. On a imaginé alors de placer

la charnière autour de laquelle pivote la hausse au sommet d'une sorte de compas, dont l'une des branches (celle d'aval) est la béquille ou Compesser BF Elivation arc-boutant, tandis que l'autre (celle d'amont appelée chevalet) est articulée sur le radier même par son extrémité inférieure. La figure donne le détail du chevalet du barrage du Port-à-l'Anglais.

Manæuvre d'abattage. - Si, dès lors, à l'aide de la barre à talons, on fait échapper la béquille de son arret, le compas, sous la pression de l'eau , s'ouvre de lui-même à 180



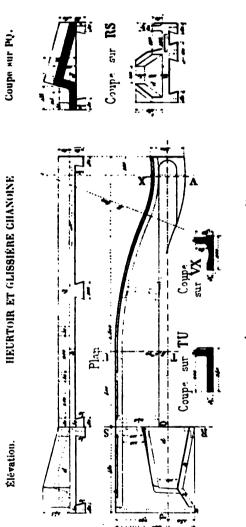
degrés; la vanne s'abat, et tout le système s'aplatit sur le radier, re- tenu en place toutefois par l'articulation qui fixe le pied du chevalet. Une glissière en fonte, de forme spéciale, guide d'ailleurs la béquille ou arc-boutant dans son mouvement. (Voir la petite planche de la page 398.)

Manœuvre de relevage. - Lorsqu'on veut relever les vannes, on saisit à l'aide d'une gaffe, ou d'une chaîne préalablement fixée, la première hausse par sa partie inférieure. Par une raction dirigée vers l'amont, qui laisse la hausse évitée au courant, on redresse le chevalet qui tourne autour de son point lixe comme centre en entraînant avec lui l'arc-boutant. Celuici remonte en suivant la glissière, s'élève un peu sur un plan Incliné (Coupe sur PQ), et retombe sur son arrêt. Le compas est alors fermé et dans une position stable, la vanne demeurant toujours en bascule, c'est-à-dire évitée au courant.

Il suffit, à ce moment, d'un coup de gaffe sur la culasse, ou d'une traction exercée à l'aide d'une chaîne à l'extrémité de la volée, pour que la hausse se redresse d'elle-même, l'axe étant placé par hypothèse dans une situation telle que, pour la



# 398 CHAPITRE XVI. BARRAGES A VANNES LOURNANTES



Échelle de 0m,05 pour un mêtre.

retenue normale, la pression de l'eau sur la culasse soit toujours supérieure à celle qui s'exerce sur la volée. La portion de passe correspondant à cet élément se trouve ainsi fermée, et il suffit de répéter l'opération autant de fois qu'il y a d'éléments pour que le barrage soit rétabli.

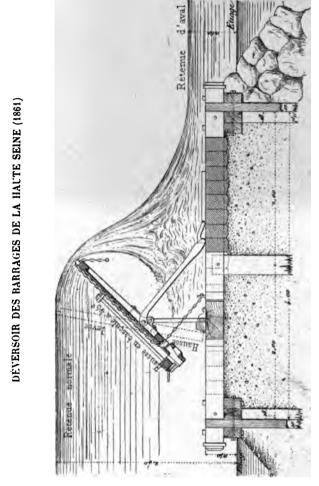
Bateau de manœuvre. — On redresse les premières hausses de la rive et les suivantes au moyen d'un bateau de manœuvre portant un treuil, et s'appuyant sur les dernières hausses relevées pour attaquer les suivantes (planche de la page 396). Il faut toutefois, on le conçoit aisément, que les étais qui soutiennent ce bateau pressent la hausse assez bas pour qu'ils n'en déterminent pas la bascule, ce qui exige que le relevage soit opéré au-dessous du niveau de la retenue normale. Ajoutons que cet abaissement de niveau est généralement sans inconvénient, parce qu'au moment du déclin des crues la pente de la rivière est encore telle que la retenue n'a pas besoin d'être tendue à son maximum.

Grâce à ces appareils ingénieux, une crue arrivant inopinément au barrage peut mettre d'elle-même les hausses en bascule et s'écouler. Si l'on veut livrer le passage complet, quelques tours d'un cric placé sur la barre à talons permettent d'abattre tout le système sur le radier, en quelques instants.

Quant au relevage, il est un peu plus long; mais les mécanismes sont si bien combinés que l'opération le plus souvent s'exécute très rapidement, surtout lorsqu'elle est confiée à un ouvrier exercé.

394. Essais de manœuvres spontanées. — Tel est, sommairement, le système qui porte le nom de M. Chanoine. Cet ingénieur a voulu aller encore plus loin. Dans les passes peu profondes, qui servent principalement à l'écoulement des eaux (les passes profondes demeurant réservées à la navigation), il a désiré réaliser un mode de fermeture complètement automobile; il a voulu que les hausses se missent d'ellesmêmes en bascule quand les eaux seraient fortes et se relevassent, spontanément aussi, quand la crue décroîtrait assez

# 400 CHAPITRE XVI. BARRAGES A VANNES TOURNANTES



Échelle de 0m.02 pour un mêtre.

pour amener le niveau des eaux sensiblement au-dessous de la retenue normale.

Spontanéité à l'abattage. — Pour réaliser ce difficile problème, il a placé l'axe de rotation de la hausse très près du tiers de sa hauteur, mais un peu au-dessus, de façon qu'une lame déversante de 0<sup>m</sup>,10 à 0<sup>m</sup>,15 suffise à rompre l'équilibre en faveur de la volée et à amener la bascule. L'expérience a montré que la prévision était exacte et le calcul s'est vérifié à l'abattage.

Spontanéité au relèvement. - Pour obtenir le redressement, il avait armé la culasse de deux contre poids, l'un fixe et l'autre mobile, de manière à ce que, par les mouvements mêmes de la hausse, au moment où le niveau de la rivière baisserait, l'in-Une nee de la culasse devint prépondérante et le relèvement Plus facile. C'est que ce relèvement est, en effet, la partie deli cate de l'opération. Une fois la hausse abattue, si, comme dans le cas actuel, la volée est beaucoup plus longue que la cu la sse, la pièce toute entière s'évite au courant, comme une grand, dans ce milieu mouvant, une position stable dont il est difficile de la faire sortir, et dont one peut chiffrer les données. Il s'y trouve en effet une quesde pesanteur de l'organe, mèlée à des frottements, et pardes sus tout des poussées inconnues qui s'exercent sur une stance plane immergée dans une nappe déversante de forme combe: Quelles sont les vitesses respectives des couches dies qui franchissent le déversoir? Quelles sont les pressions Ples engendrent, pressions évidemment variables avec la batt Leur de la nappe et celle de la chute? C'est ce qu'il est bien difficile, nous ne dirons pas de calculer, mais même de pressen tir; et il ne faut pas s'étonner si, en semblable matière, résultats obtenus demeurent parfois aussi inexplicables qu'i mattendus.

soit, le relèvement spontané à l'aide de contrepoids ne réussit pas, et l'on dût avoir recours à une limitation du mouvement de la hausse à l'aide d'une chaîne (petite planche de la page 100). Alors la surface plane ne pouvant plus s'éviter au

courant, les pressions rentraient à peu près dans leur fonctionnement normal, et un léger abaissement du bief déterminait la prépondérance de la culasse sur la volée, c'est-à-dire leredressement spontané. Seulement la passe demeurait partiellement obstruée pendant le basculement et le système perdait de ses avantages. Plus l'inclinaison conservée à la hausse étai roide et plus le redressement était rapide, moins par conséquent le bief d'amont avait besoin de s'abaisser pour que l manœuvre spontanée s'accomplit. M. l'ingénieur en chef Hans de Bruxelles, fait même connaître qu'il résulte d'expérience s faites sur la Meuse belge, que les hausses qui basculent sous une lame d'eau déversante de 0m,45 ne se redressent que lorsque le niveau des eaux d'amont descend à 0m,10, environ. sous la crête de la volée de la hausse basculée, « Cette loi, dit M. Hans, est générale, quelle que soit l'inclinaison que l'on ait laissé prendre à la hausse en bascule. Ainsi, si la hausse peut basculer de façon que la crête de sa volée s'abaisse de 1 mètre en dessous de la flottaison d'amont, il faut que l'eau du bief supérieur s'abaisse de 0",10 sous la flottaison avant que la hausse se relève spontanément. »

On est donc en ce qui concerne l'automobilité placé entre deux écueils. Ou l'on obtiendra une manœuvre rapide en diminuant notablement la capacité d'écoulement de la passe, ou l'on aura un barrage un peu paresseux ne se relevant qu'après

une baisse accentuée.

396. Établissement d'une passerelle de manœuvre. — Il a paru naturel d'échapper à cette alternative, ainsi qu'à bien d'autres difficultés de détail dont il serait trop long de faire l'énumération, en se donnant les moyens d'aider mécaniquement les hausses à se relever, lorsqu'elles hésiteraient. On y est arrivé en plaçant, immédiatement à l'amont de ces organes, une passerelle portée sur fermettes, du haut de laquelle s'effectuent les manœuvres. Deux chaînes (planche de l'article 376) rattachent la vanne à la passerelle et à un treuil mobile qui la parcourt. Le barragiste devient alors complètement maître des mouvements. En tendant l'une des chaînes et en filant l'autre d'une quantité correspondante, il choisit son

niveau et son heure, il relève et abaisse, sans chocs, sa hausse qui a moins besoin d'être en équilibre. Il peut, d'ailleurs, laisser le basculement se produire spontanément, et n'intervenir que pour le relevage. Dans le second cas, en effet, il n'y a jamais urgence: les crues des rivières canalisées descendent assez longuement pour qu'une manœuvre spontanée ne soit pas nécessaire, en sorte que l'on n'a que peu de regrets à avoir au sujet de cette intervention possible de la main de l'homme, qui est toujours un gage précieux de sécurité.

Ajoutons que sur beaucoup de barrages, principalement sur ceux où les engins n'ont qu'une faible hauteur, on a pu se dispenser des chaînes et se borner à armer la hausse d'une poignée dans le bas et d'un crochet dans le haut; on saisit ces ajutages à la gaffe, et l'on s'évite ainsi des liaisons trop nombreuses, qui peuvent s'enchevêtrer au moment d'un abat-

tage en grand.

L'usage de la passerelle s'est donc généralisé, malgré la complication un peu plus grande qui en résulte, et le système complet comporte aujourd'hui cette addition. Indépendamment de l'utilité que nous venons de signaler, on y trouve encore un avantage que nous ne pouvons pas passer sous silence. Il devient possible de relever tous les chevalets et tous les arcs-boutants, d'abord en laissant les hausses évitées au courant, pour n'opérer la bascule de ces hausses qu'au dernier moment et après les soutiens en place. On gagne ainsi du temps, et surtout une grande facilité de manœuvre ; en effet, à mesure que la passe s'obstrue du haut en bas d'une manière complète, ce qui a forcément lieu, avec l'emploi du bateau de manœuvre, le courant s'accentue dans la partie qui demeure ouverte et devient parfois assez violent pour ne pas permettre à l'arc-boutant de rester sur son arrêt; il se produit alors une chute violente de tout l'élément que l'on croyait stable et des accidents s'ensuivent, ce qui a toujours une grande influence sur la rapidité future des manœuvres.

Ici, toutefois, les fermettes n'ont plus besoin d'autant de force que dans les barrages à rideau indépendant de leur appui, car elles ne servent généralement que de support à une passerelle; cependant il est bon de ne pas les faire trop faibles. D'abord, puisqu'elles existent, il est naturel de s'en servir à l'occasion pour recevoir un rideau d'aiguilles, au cas où des réparations seraient nécessaires aux hausses. En second lieu, pendant les manœuyres, le treuil exerce parfois sur sa chaîne un effort voisin, comme intensité, de celui que déterminent les aiguilles; enfin il faut qu'elles aient pour faire sûrement leurs évolutions une résistance transversale aussi grande que les antres, de telle sorte qu'en somme elles en different pen. On tiendra compte, cependant, dans leur réalisation, de ce fait que l'effort qui leur est imposé n'est pas continu, d'une part, ce qui permet de faire travailler le fer à une plus forte charge; tandis que, d'autre part, les manœuvres accomplies avec le treuil étant successives, les fermettes voisines peuvent se prêter un mutuel appui.

Tel est donc l'ensemble du système Chanoine aujourd'hui employé, et il était nécessaire de faire connaître sa composition et sa manœuvre, pour pouvoir étudier ses parties constitutives. Nous envisagerons successivement, comme nous

l'avons fait pour les barrages précédents :

La hausse ou vanne, qui correspond à ce qui était tout à l'heure le rideau étanche;

Le chevalet et l'arc-boutant qui forment les appuis de la hausse et qui remplacent la fermette;

La barre à talons qui sert de moteur mécanique; Et enfin le radier.

## S II

## HAUSSE OU VANNE.

Le rideau étanche est formé ici, nous l'avons vu, d'une série de panneaux juxtaposés, que l'on construit à l'atelier, et qui par eux-mêmes sont parfaitement étanches.

397. Système de construction. - Le système de construction est des plus simples : Deux larges montants en bois solides réunissent le truit. Cette composition n'a, du rosto, rien de nécessaire, mais elle nous paraît la plus simple et la mieux appropriée aux sujétions diverses qu'amène l'usage,

D'abord, le choix de lois comme matière première est justifié, soit par les chocs qui suivent la plupart des maneuvres, soit par la dimizution de poids de l'engin des qu'il est immergé.

En second lieu les modants latéraux, formés de pièces de bois uniques et massives, se prêtent parfaitement à la fixation des conssinets de la tête du chevalet, en un point quoiconque, suivant le régime que l'on veut donner à la passe à fermer.

Enfin, la construction est si simple que l'éclusier pont lubmême réparer ses hausses quand besoin est, avantage très considérable en rase campagne, nous ne saurions assez le répéter.

Le mouvement de bascule s'effectue, comme nous l'avons vu, sur un axe placé plus ou moins haut; nous nous occuperons plus tard de la position qui doit être préférée, mais nous observerons ici que cette position, une fois déterminée, les montants peuvent être facilement calculés puisque la partie supérieure à l'axe est une pièce en porte à faux, tandis que le bas repose sur deux appois tout en étant soumis à des chocs qui doivent faire exagérer ses dimensions. Le calcul donne donc ici un minimum.

parfois besoin d'être modéré à l'abattage, et accéléré au relevage. On s'aide beaucoup, dans cet ordre d'idées, par l'emploi de vannes papillon. Ces vannes ne sont pas autre chose qu'une petite hausse semblable à la grande et percée dans la partie supérieure de cette dernière, c'est-à-dire dans la volée. En l'ouvrant d'un coup de gaffe, du haut de la passerelle, on livre passage aux eaux, et l'on diminue l'influence de la volée au profit des pressions qui s'exercent sur la culasse. On peut ainsi, d'abord livrer passage à une petite crue sans toucher 406

au barrage, ensuite hâter le relèvement spontané en les laissant ouvertes au moment de l'abattage, par la raison que nous venons d'indiquer. Ces engins accessoires sont bien munis d'un axe horizontal placé vers leur centre de pression, de manière à pouvoir s'ouvrir et se fermer, eux aussi, spontanément; mais l'expérience a prouvé qu'ici encore l'automobilité ne se réalisait qu'accidentellement, et que, par suite, les vannes papillon ne rendaient de service parfaitement surs que quand le barrage était muni d'une passerelle permettant à l'homme de suppléer à l'insuffisance des actions de l'eau, Observons encore ici que le mode de construction que nous avons recommandé, pour les hausses en bois, se prête parfaitement à l'installation de vannes papillon entre leurs montants. Et comme ces petites vannes peuvent demourer fermées si on s'abstient de les toucher, il y a presque toujours avantage à en munir les grandes hausses, afin d'avoir une facilité de plus à sa disposition. Elles ont sur la Haute-Seine 1 mêtre de hauteur sur 0-,42 de largeur. Dans les ouvrages de la Meuse belge, elles ont 1m,30 sur 0m,58; dans quelques barrages de la Marne les dimensions sont 0-,74 et 0-,43. L'axe de rotation est placé à une distance qui varie entre les  $\frac{35}{100}$  et les  $\frac{40}{100}$  de la hauteur totale du papillon.

399. Dimensions et espacement des hausses. — Constituée comme nous venons de le dire, la hausse Chanoine représente un grand panneau, qu'on ne peut soumettre à des efforts successifs, si l'on veut que les organes qui le soutiennent ne soient pas trop chargés. Quand la retenue est très haute, notamment, la largeur ne peut être très grande. Les vannes de Port-à-l'Anglais, par exemple, qui ont 4 mètres de hauteur, n'ont que 1 mètre de largeur, ce qui représente déjà, avec une chute de 3 mètres, une pression totale de 7500 kilos.

D'autre part, les ferrures qui les supportent et qui sont articulées sur plusieurs points, prennent du jeu avec le temps. Un certain jeu initial est même nécessaire pour que l'arc-

houtant puisse être entraîné latéralement et échappe à son arrêt; il s'ensuit que deux hausses voisines ne peuvent pas être juxtaposées d'une façon trop intime, sous peine de chevaucher l'une sur l'autre à un moment donné, ce qui diminuerait beaucoup l'étanchéité du barrage et compromettrait même certaines manœuvres.

400. Obturation des joints. — L'expérience a montré qu'un joint de 0<sup>m</sup>,10 pouvait suffire, et c'est de cette quantité que l'on espace deux vannes consécutives. On n'a ainsi qu'un seul joint par vanne, mais ce joint est considérable et serait dans bien des cas susceptible d'épuiser le débit d'étiage. On l'obture, dans les moments de pénurie d'eau, en plaçant un madrier debout en couvre-joint ou une simple pièce de bois carrée que l'on présente par un angle, et que le courant pousse jusqu'à ce que ses deux faces s'appuient sur les deux hausses voisines.

401. Taquets fixés aux vannes. — Dans les manœuvres d'abattage, alors que la barre à talons jette à terre toutes les vannes à tour de rôle, celles-ci tombent sur le radier où elles viennent s'appuver sur l'articulation qui réunit l'arc-boutant au chevalet, au droit de la glissière en fonte. Le choc qu'elles subissent et que subit l'assemblage serait nuisible aux pièces, si on le laissait se produire. Aussi l'évite-t-on, en fixant à la face aval de chaque vanne des taquets de hauteur suffisante pour toucher le radier et arrêter le mouvement avant que le choc des parties métalliques puisse se produire. Il ne faut pas, toutefois, s'exagérer cette crainte; car chaque hausse, qui tombe très rapidement au début, trouve au niveau du bief d'aval un matelas d'eau qui amortit sa vitesse; et en somme les taquets dont nous venons de parler sont une précaution nécessaire, mais suffisante en général, quand le bief d'aval a plus de 1 mètre d'eau.

On a construit ainsi des vannes en tôle de nous aurons occasion de parler plus tard de ces qui ont jusqu'à 4<sup>m</sup>.36 de hauteur sur 4<sup>m</sup>,40 de largeur, atefois, on a considéré comme prudent, tant en raison de leur poids qu'à cause de leur construction, de ne pas les exposer à des chocs, et de

# 408 CHAPITRE XVI. BARRAGES A VANNES TOURNANTES

les descendre mécaniquement jusque sur le radier, au lieu de les y laisser tomber.

Nous n'insisterons pas davantage ici sur la manœuvre des vannes Chanoine, parce que nous aurons à y revenir en traitant des avantages et des inconvénients de ce mode de fermeture.

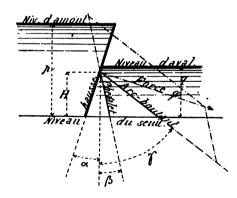
# § III

# CHEVALET ET ARC-BOUTANT

Passons maintenant à l'examen des pièces qui remplacent les fermettes, chevalet et arc-boutant; et, comme précédemment, rendons-nous compte des efforts qu'elles ont à supporter.

402. Calcul des forces qui agissent sur la hausse et ses appuis. — Conservons d'ailleurs nos rotations.

H sera la hauteur au-dessus du seuil, de l'articulation supérieure du chevalet,



p et q seront les hauteurs d'eau en amont et en aval,

a l'angle de la hausse avec la verticale.

3 l'angle du chevalet avec la même ligne,

γ l'angle de l'arcboutant toujours avec la même verticale.

La pression qu'exercera l'eau sur la hausse

en la supposant au niveau de l'arête supérieure de cet engin, sera  $\frac{p^*-q^*}{2\cos x}$ ; et le moment de cette pression, par rapport au seuil, sera  $\frac{p^3-q^3}{6\cos^2 x}$ .

Il suit de là que la force de même moment qui agira normalement au point où la hausse s'appuie sur l'arc-boutant sera donnée par l'expression  $\frac{p^s - q^s}{6 \cos s^s \alpha}$ :  $\frac{H}{\cos s \alpha} = \frac{p^s - q^s}{6 \text{ H cos. } \alpha}$ 

Si nous appelons cette force q, il nous sera facile de constater, à la vue de cette première expression, que o décroit à mesure que H augmente et croît au contraire avec l'angle a, ce qui était évident à priori.

Si maintenant nous décomposons la force p en deux autres forces, agissant sur les points fixes par l'intermédiaire du chevalet et de l'arc-boutant, nous trouvons :

Effort d'arrachement sur le chevalet 
$$\varphi \times \frac{\cos. (\alpha + \gamma)}{\sin. (\gamma - \beta)}$$
... (1).

Effet de compression sur l'arc-boutant 
$$\phi \times \frac{\cos. (\alpha + \beta)}{\sin. (\gamma - \beta)}$$
...(2)

dans le sens des pièces métalliques.

Quant à l'action verticale sur le radier, elle sera :

Pour l'effort d'arrachement 
$$\varphi \times \frac{\cos. (\alpha + \gamma) \cos. \beta}{\sin. (\gamma - \beta)}$$
... (3)

Pour l'effort de compression  $\varphi \times \frac{\cos. (\alpha + \beta) \cos. \gamma}{\sin. (\gamma - \beta)}$ ... (4)

Pour l'effort de compression 
$$\varphi \times \frac{\cos. (\alpha + \beta) \cos. \gamma}{\sin. (\gamma - \beta)}$$
... (4)

Ces formules supposent que le pied de la hausse et celui du chevalet, sont, comme dans la fig. page 408, séparés par la verticale qui passe par l'articulation. Si ces deux points étaient, au contraire, du même côté de cette verticale, il faudrait changer β en - β pour trouver la valeur des efforts.

Si dans les expressions (1) et (2) nous remplaçons y par sa valeur et si nous simplifions, nous trouverons :

Effort sur le chevalet : 
$$\frac{p^3-q^5}{6\,\mathrm{H}} \times \frac{\cos,\gamma-\tan g,\alpha\sin,\gamma}{\sin,(\gamma-\beta)}$$
Effort sur l'arc-boutant :  $\frac{p^3-q^5}{6\,\mathrm{H}} \times \frac{\cos,\beta-\tan g,\alpha\sin,\beta}{\sin,(\gamma-\beta)}$ 

Influence de l'inclinaison de l'arc-boutant. - L'examen de ces expressions, ainsi transformées, montre que les efforts diminuent à mesure que l'angle  $\gamma$  grandit, c'est-à-dire à mesure que l'arc-boutant s'allonge. La diminution s'accentue mème très rapidement pour l'effort d'arrachement, puisque le terme positif du numérateur devient plus faible, le terme négatif et le dénominateur devenant plus grands. La tendance à l'arrachement devient nulle quand cos.  $\gamma = \tan g$ .  $\alpha$  sin.  $\gamma$ , c'est-à-dire quand tang.  $\alpha$  tang.  $\gamma = 1$ , ou quand l'arc-boutant est perpendiculaire à la vanne.

Influence de l'inclinaison de la vanne. — Les deux efforts diminuent également à mesure que  $\alpha$  grandit, puisque les numérateurs diminuent par l'accroissement de leur partie négative, dans les limites du moins que la pratique assigne à l'angle  $\alpha$ . Ils deviennent nuls, le premier, comme tout à l'heure, quand la hausse devient perpendiculaire à l'arc-boutant, et le second quand tang.  $\alpha \times \tan \beta = 1$ , c'est-à-dire quand la hausse et le chevalet sont perpendiculaires. Alors, en effet, il n'y a plus de pression sur l'arc-boutant, elle est toute sur le chevalet.

Influence de l'inclinaison du chevalet. — Les variations de  $\beta$  sont moins simples. Si le chevalet a son pied du même côté de la verticale que l'arc-boutant, c'est-à-dire si, comme dans la figure,  $\beta$  est positif, l'effort d'arrachement croît à mesure que  $\beta$  décroît, puisque le dénominateur augmente.

Par contre, l'effort de compression augmente puisque le numérateur augmente par une double cause, le dénominateur variant dans le même sens, mais moins rapidement.

Si le chevalet a son pied du même côté de la verticale que l'appui de la hausse, \( \beta \) devient négatif et les formules sont :

Effort sur le chevalet 
$$\frac{p^3-q^3}{6\,\mathrm{H}} \times \frac{\cos.\gamma - \mathrm{tang.}\,\alpha\sin.\gamma}{\sin.(\gamma+\beta)}$$
  
Effort sur l'arc-boutant :  $\frac{p^3-q^3}{6\,\mathrm{H}} \times \frac{\cos.\beta + \mathrm{tang.}\,\alpha\sin.\beta}{\sin.(\gamma+\beta)}$ 

La première expression est plus faible que tout à l'heure, la seconde est plus forte; la première diminue à mesure que β augmente, la seconde augmente à mesure que β diminue en valeur absolue.

Explin si l'on fait  $\beta = 0$ , on a :

Effort sur le chevalet : 
$$\frac{p^3 - q^3}{6 \text{ H}} \times \frac{1 - \tan g. \alpha \tan g. \gamma}{\tan g. \gamma}$$

Effort sur l'arc-houtant :  $\frac{p^3 - q^3}{6 \text{ H sin. } \gamma}$ 

Conclusions à tirer en ce qui concerne les positions respectives de la hausse, du chevalet et de l'arc-boutant. — De cette discussion on peut conclure :

1° Qu'il y a toujours avantage à allonger l'arc-boutant, autant que le permet le radier:

2º Qu'il est bon, à tous les points de vue (excepté à celui de la résistance de la hausse elle-même), de donner à cette dernière pièce une certaine inclinaison sur la verticale. Pour une hausse de faible dimension on peut se contenter de 8°; pour les hausses de 4<sup>m</sup>, vingt degrés environ sont préférables. La force d'arrachement en est notablement diminuée, sans que la compression augmente, et l'expérience semble avoir consacré ces nombres;

3º Qu'il convient, dans le même ordre d'idées, de rapprocher d'autant plus le pied du chevalet de celui de la hausse que co dernier organe est plus grand;

Qu'il faut enfin, en tout état de cause, ancrer dans le radice l'articulation inférieure du chevalet, puisque ce chevalet su l'it une traction considérable, qu'aide encore la sous-pression du bief d'amont, et à laquelle résistent mal des maçonne les dont l'immersion diminue le poids.

Tels sont les résultats auxquels on arrive, quand on recherche l'influence des dispositions à adopter pour un système d'une hauteur donnée, se composant d'un chevalet et d'un arc-boutant réunis. Il nous reste à envisager la question de la uteur elle-même de tout le système.

Le Chevalet, en effet, suivant qu'il est plus ou moins grand, place l'axe de rotation de la hausse plus ou moins haut, et rend le basculement plus ou moins aisé. Si l'axe de rotation

est précisément au centre de pression, c'est-à-dire à une distance du seuil représentée par  $\frac{p^* + pq + q^*}{3(p+q)\cos \alpha}$ , la hausse sera

absolument instable; la moindre augmentation de niveau soit à l'amont, soit à l'aval, déterminera le basculement, dans le premier cas par excès de poussée sur la volée, dans le second par diminution de poussée sur la culasse.

Si l'axe de rotation est, au contraire, au milieu même de la hausse, celle-ci restera insensible quels que soient les niveaux d'amont et d'aval ; et toute automobilité aura disparu.

Ce sont là les deux cas extrêmes entre lesquels il convient

Effets de l'insensibilité. — L'insensibilité, en effet, entraîne la perte d'une faculté précieuse, à laquelle il serait d'autant de demeurer. plus facheux de renoncer que la disposition qui la sauvegarde facilite les manœuvres, et permet mieux à la main de l'homme

de se substituer, le cas échéant, à l'inertie des engins.

Effets d'une sensibilité trop accusée. — La sensibilité trop marquée présente, elle aussi, de graves inconvénients. En effet, quand pour une cause quelconque une ou plusieurs vannes viennent à basculer, le bief d'aval se gonfle au pied même du barrage, et les fluctuations qui s'y produisent accélèrent la chute des autres hausses. Tout le bief d'amont tombe alors dans le bief d'aval, ce qui produit une crue artificielle et locale, dans laquelle le régime de la rivière peut se trouver temporairement atteint, ce qui a toujours de fâcheuses conséquences au point de vue des intérêts riverains et de la naviga-

Il est d'ailleurs bien difficile de demander au calcul une prévision précise de ce qui se passera. Les calculs faits jusqu'ici ont admis que les pressions dynamiques exercées par l'eau se tion. comportaient, approximativement au moins, comme les pressions statiques. C'est là une hypothèse inexacte, et qui s'ècarte d'autant plus de la vérité que la nappe déversante est plus forte. Le courant détermine, là où il a toute sa force, une pression peu connue, tandis que dans les régions inférieures il exerce en quelque sorte une attraction qui y diminue la hauteur piézométrique, c'est-à-dire la pression statique. Cet effet est mis en évidence dans divers appareils comme la Pompe de M. Eads et l'injecteur Giffard, et il ne peut manquer de se produire, quoiqu'à un degré infiniment moindre, dans les barrages mobiles à lame déversante. Il y a donc incertitude sur l'automobilité des hausses dans les environs de l'équilibre statique, et on ne peut s'en rapporter exclusivement aux indications du calcul.

La pratique a démêlé la question et voici le résultat qu'elle a fourni.

Quand la passe est très haute, et que le niveau du bief d'aval n'en dépasse notablement le seuil qu'au moment où le barrage doit être ouvert, on peut raccourcir la culasse jusqu'aux 36 centièmes de la longueur de la hausse. Le basculement est peu redoutable, et la chute accidentelle d un organe n'influence pas le reste du système.

Quand la passe est profonde, et quand les engins sont grands, le danger d'un basculement spontané devient sérieux, et il ne faut pas le risquer. Mieux vaut rendre la manœuvre à la main un peu plus dure, et fixer l'axe de rotation aux centièmes de la hauteur totale, comme on l'a fait sur la haute Seine.

Ce sont là les deux limites entre lesquelles, suivant les cirstances et les risques à courir, il convient de se mouvoir choisir la hauteur du chevalet d'une vanne, dont la dinension est déterminée par la passe qu'elle doit fermer.

Sa forme trapézoïdale. On lui donne la largeur la plus grande possible à la base, pour rendre plus régulier le jeu de la hausse. Les deux tourillons inférieurs s'engagent dans des crapaudines lixées au seuil et ancrées avec lui dans le radier. Le plus souvent ces crapaudines ressemblent à celles que nous avons vu se placer à l'extrémité aval des fermettes, et il en résulte qu'un coin y rend le chevalet prisonnier, tandis que l'enlèvement de ce coin lui rend la liberté. La pièce peut ainsi être montée et démontée à volonté par un plongeur et enlevée hors de l'eau avec la vanne et l'arc-boutant.

Nous avons vu que le chevalet n'était soumis qu'à un effort d'extension et la résistance du fer permettrait de lui donner une

#### 414 CHAPITRE XVI, BARRAGES A VANNES TOURNANTES

section très réduite, si l'on n'envisageait que ce côté de la question. Mais en même temps cette pièce reçoit des chocs violents, toutes les fois que la hausse en se relevant vient buter le seuil; il en est de même quand l'arc-boutant après avoir marché un peu plus avant qu'il n'était nécessaire retombe sur son heurtoir, ou encore quand tout le système tombe sur le radier.

De plus, lorsqu'on relève une hausse entre l'une de ses voisines déjà en place et l'autre abattue, le courant, agissant d'un côté seulement tend à tordre le chevalet qui doit avoir assez de puissance pour résister. Enfin, comme nous l'avons vu, c'est cette pièce qui fixe la direction de tout le système et il ne faut pas qu'elle fléchisse. Aussi la compose-t-on généralement de fers massifs de 80 millimètres sur 40, ou 60 sur 40 s'ils ont peu de longueur. On l'entretoise en outre tantôt horizontalement et tantôt diagonalement, de façon à en faire un tout indéformable.

L'axe supérieur est soumis aux mêmes chocs que l'axe inférieur et a besoin, par suite, d'être très résistant puisqu'il reçoit en son milieu la butée de l'arc-boutant. Cette butée s'exerce entre deux collets qu'il convient de renforcer dans tous les sens, puisque c'est par eux que l'arc-boutant est guidé dans la direction de la glissière qu'il ne doit pas quitter, sous peine de rendre la manœuvre impossible. Sous tous ces rappogts, il nous semble que l'emploi de l'acier serait très justifié pour la confection des axes.

Sur la Meuse belge, où les passes peu profondes sont munied'appareils Chanoine, on a demandé un effort de plus à l'axesupérieur; il porte un taquet qui arrête la hausse dans soumouvement de bascule, et la force à demeurer dans une position inclinée vers l'amont à 21° sur l'horizontale. Ce taque remplace ainsi les chaînes de retenue dont nous avons parliplus haut et qui servent, en limitant la course de l'engin, à assurer son relèvement spontané. Cette nouvelle charge apportuun motif de plus à l'emploi de l'acier.

405. Position du pied du chevalet. — Nous avons vue plus haut qu'au point de vue des efforts supportés par les organes, il n'y avait pas intérêt à ce que le pied du chevalet fue

séparé par la verticale du pied de la hausse. Dans la pratique, cette disposition n'en a pas moins été généralement adoptée, parce qu'elle place le centre de gravité du système du chevalet et de la hausse entre les points d'appui de ces deux pièces. Lors du montage et des réparations, la hausse se tient alors debout, sans le secours de l'arc-boutant, ce qui est une facilité de plus. Il en serait autrement si le pied de la hausse et les lourillons du chevalet étaient du même côté de la verticale, et cette dernière disposition n'est adoptée que quand l'effort d'arrac-hement est tout à fait à redouter.

206. Arc-boutant. — L'arc-boutant est une pièce dont le rôle est des plus simples, puisqu'il résiste à l'écrasement et sert simplement de support à la poussée de l'eau. Il subit, comme le chevalet, des chocs violents, dans les mouvements bru sques de la hausse, et il y a tout intérêt à le rendre puissant. On l'a construit souvent en fonte, et on lui a donné une section ronde uniforme à partir de la hausse, avec renslement s'appuyant sur le radier afin de reporter le centre de gravité de la pièce loin de l'articulation.

Longueur de l'arc-boutant. — Ici encore, si l'on ne tenait compte que de l'effort d'écrasement, on serait porté à rac-courcir la pièce en vue d'assurer sa rigidité. D'autres considérations font voir qu'elle doit au contraire être d'autant plus longue que la retenue est plus haute, et l'usage pour les grandes retenues est aujourd'hui de lui donner une longueur ègale à celle de la hausse.

Inconvénients d'un arc-boutant trop court et trop gros. — C'est qu'en effet il y a une manœuvre à faire pour laquelle la longueur est une qualité. Quand le barrage est en partie debout, la portion de passe qui demeure ouverte reçoit des courants de plus en plus violents; ces courants, pour les dernières hausses qu'on relève, viennent frapper directement l'arc-boutant qui, fixé par sa tête, laisse traîner son pied sur le radier. Le pied ainsi soulevé tombe et se relève, demeure parfois suspendu, au moment où on le croit sur son heurtoir, et la vanne abandonnée à elle-même retombe sur le radier entraînant avec elle sa chaîne et les appareils de ma-

nœuvre, et compromettant ainsi la sécurité des ouvriers.

On a chance d'éviter ces accidents en allongeant la pièce, en donnant à sa tige une forme méplate, et en plaçant à son extrémité inférieure une sorte de renflement en lentille qui éloigne le centre de gravité de l'articulation. Il faut donc de la résistance, du poids et peu de volume, ce qui nous paraît encore ici justifier l'emploi de l'acier commun; limité à un aussi petit nombre de pièces, cet emploi doit être sans influence sur le prix de construction, tout en assurant de sérieux avantages de durée et de facilité de manœuvre.

407. Articulation avec le chevalet. — Nous n'avons pas besoin d'ajouter que l'articulation avec le chevalet doit être précise, très soignée et facile à entretenir par le changement des pièces frottantes. Le meilleur exemple à suivre est celui qu'offrent les machines à vapeur dans l'ajustage des têtes de bielle.

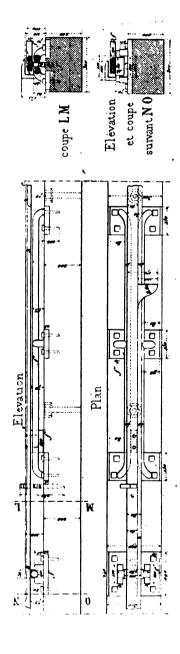
## \$ IV

#### BARRE A TALONS

408. Description. — La barre à talons se compose d'une bande de fer méplat de 80 millimètres sur 30, qui court sur le radier dans toute l'étendue de la passe, et est armée de talons espacés de telle sorte que chaque arc-boutant soit successivement entraîné par le déplacement de la barre. Celle-ci est supportée, de distance en distance, par des rouleaux, tandis que sur la partie qui doit faire effort, elle est dirigée par un guide qui coule entre deux glissières (planche de la page 417). Un crochet supérieur l'empêche, dans le sens vertical ascendant, de quitter ses appuis, en sorte que le mouvement est circonscrit dans le sens d'un va et vient normal au cours de l'eau.

On la place un peu en saillie sur le radier pour éviter les

# § IV. BARRE A TALONS



BARRAGE DE LA MADELEINE (HAUTE SEINE)

2. /

Barre à talons.

Échelle de 0m,05 pour un mètre.

## 18 CHAPITRE XVI. BARRAGES A VANNES TOURNANTES

dépôts, et en amont du heurtoir sur lequel s'appuie l'arcboutant, afin d'éviter les chocs de cette pièce mobile.

409. Manœuvre. —La barre à talons est manœuvrée de la rive par un crie placé dans un puits de la culée et qu'un engrenage commande par le haut. Sur la Meuse belge on a donné à ce crie une puissance de 12.000 kilos, afin de pouvoir broyer un caillou qui s'interposerait entre un talon et un point fixe. C'est là une précaution sage, car il arrive fréquemment que l'on éprouve des arrêts dans la manœuvre de cet organe fort ingénieux, mais aussi fort sujet aux avaries.

Il est bon, précisément à cause de cette délicatesse, de faire la barre à talons aussi courte que possible. Ainsi pour peuqu'une passe soit large, on agira prudemment en y adaptant deux barres à talons qui, manœuvrées de chaque rive, ouvriront chacune la moitié de la passe. Jusqu'à 15 ou 20 mètre une seule barre suffit, et cette dimension est d'ailleurs forcement dépassée dans un grand nombre de cas; seulement, pla la barre à talons est longue, plus elle doit être massive résistante, plus le cric qui la commande doit être fort, nombre considérable de guides et de supports qui la dirig diminuent beaucoup les inconvénients d'un poids un fort.

410. Contre-talons. — On a parfois armé la barre de contre-talons qui appuient chaque arc-houtant quand il est sur son arrêt, et empêchent ainsi tout mouvement spontané de se produire. Les contre-talons sont tous équidistants, alors que les talons sont disposés en progression arithmétique; les premiers quittent tout à fait leurs positions, tandis que les seconds ne viennent que successivement en prise avec les arcs-houtants. Cette disposition est évidemment une sécurité de plus contre l'abattage spontané, mais elle complique une pièce déjà peu simple; elle double le nombre de saillies et, par suite, les chances d'arrêts de l'engin, et il n'est pas hien prouvé qu'elle constitue un avantage dans tous les cas.

111. Observations. — Nous ne pouvons, d'ailleurs, qu'être très réservé dans ces appréciations. Il est évident qu'un organe, même peu simple, est susceptible de rendre les plus rands services, quand le nivean du seuil sur lequel il est placé est accessible sans grande difficulté. Le même organe, u contraire, devra être laissé de côté dans une passe profonde, où les réparations sont difficiles et où les arrêts peuvent tre un danger. Nous n'insisterons donc pas davantage sur es détails, malgré l'intérêt qu'ils offrent, en raison de l'influence prépondérante des circonstances locales.

Nous terminerons par deux observations essentiellement

ratiques :

Lorsque la manœuvre d'abattage a été exécutée et que la la arre à talons a décrit sa course, il faut la remettre immédiament en place; si cette précaution n'était pas prise avant ue les vannes fussent relevées, il serait impossible d'y reverir parce que les arcs-boutants, une fois en place, fermeraient

I e passage aux talons.

L'engrenage qui actionne l'appareil est placé, avons-nous it, au fond d'un puits, dans la culée, c'est-à-dire au milieu une eau tranquille où les dépôts naissent naturellement. Les puits sont d'ailleurs baignés par l'eau au niveau seulement u bief d'aval, en sorte qu'en y introduisant les eaux d'amont par un conduit spécial on peut opérer sur les pièces inférieures ne chasse puissante, pour nettoyer les rouages et leur pertetre de fonctionner sans interposition de sable. C'est une précaution qu'il est bon de ne pas omettre, au moment où la construction s'exécute, d'une part, et d'autre part chaque fois qu'une manœuvre de la barre à talons doit être exécutée.

#### SV

#### DU RADIER

112. Le radier des barrages Chanoine. — Tout ce que rous avons dit au sujet du radier des barrages à fermettes Pent s'appliquer aux barrages Chanoine, avec quelques sujé-

BARRAGE DE COUZON (SAONE) 1877

Coupe de la passe navigable et Elévation du hajoyer du large,

sacrifice, par une utilisation complète du double système de fermeture. Il faut, à notre sens, ancrer les fermettes et ménager dans le radier un emplacement pour le pied des aiguilles de façon à pouvoir, en cas de besoin, établir un rideau complet en avant des vannes. On aura ainsi, moyennant une dépense supplémentaire insignifiante, un double moyen de parer aux éventualités. Dans ce cas, les fermettes qui n'auront à travailler qu'exceptionnellement au maintien de la retenue pourront être plus minces, plus légères et, par suite, plus économiques et plus aisées à manœuvrer; si minime que soit cette économie, il ne faut pas la négliger, mais il serait fâcheux, pour la rendre un peu plus considérable, de réduire les fermettes à n'être que de simples supports, dans la plupart des cas au moins.

416. Usage du bois pour le seuil. — On ne perdra de vue, d'ailleurs, que le seuil des vannes est soumis à une traction qui peut être très énergique; il doit, par suite, être solidement ancré. En outre, avec des hausses un peu sensibles, nous avons vu que, sous l'influence des fluctuations du niveau d'aval, il se produisait de petits mouvements spontanés, des sortes d'oscillations, qui ont pour conséquence le martelage du seuil par la partie inférieure de la culasse. Cette circonstance justifie l'usage général du bois pour le seuil des barrages de ce système.

417. Possibilité d'établir les batardeaux. — Enfin, plus encore que pour les barrages à fermettes, il faut se ménager la possibilité de construire facilement des batardeaux autour des engins mobiles. Ce ne sont plus seulement les fermettes qu'il faut visiter, ce sont les vannes et leurs appuis, c'est surtout la barre à talons, et nous ne croyons pas avoir besoin d'insister sur ce point. Il est évident que plus le nombre des organes noyés est considérable, plus la profondeur de l'eau qui les noie est grande, plus les batardeaux sont nécessaires. Or, dans les barrages que nous étudions en ce moment, s'il y a cet avantage incontestable de pouvoir tout coucher sur le radier à un moment donné, il s'ensuit qu'on trouve forcément en

regard la gêne qui résulte de cette disparition complète au fond de la rivière.

# § VI

# AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES BARRAGES DU SYSTÈME CHANOINE.

18. Grande facilité d'abattage. - Le premier des a tages que présente le système de barrage qui porte le nom Chanoine est sa rapidité d'abattage, à un signal donné. Iques tours de cric exécutés de la rive, et toute la retenue s latit et disparaît.

19. Basculément. - Sans aller jusque-là, du haut d'une serelle, la mise en bascule des hausses opérée d'une façon cessive, cà et là, ouvre aux crues un passage dont on est Deu près maître.

En cas de crue imprévue, le mouvement spontané des hasses garantit contre toute élévation importante du niveau

de la rivière.

- 420. Déversement. Si la crue est sans importance no-Lable, elle s'écoule par la lame déversante, qui a toute la lar-Seur de la rivière et fournit ainsi un débit suffisant. On aide, d'ailleurs, son passage par l'ouverture de vannes papillon qu'un coup de gaffe, envoyé de la passerelle, suffit à déterminer. Cette double disposition laisse du temps au barragiste et lui permet de réunir les ouvriers nécessaires aux manœuvres plus complètes.
- 421. Équilibre de la hausse. Au relevage cette ingénieuse conception, qui consiste à placer l'axe de rotation aux environs du centre de pression, permet, avec une puissance minime, de créer ou d'annuler la poussée relativement très considérable qu'exerce l'eau sur la hausse,

- 422. Pression de l'eau évitée. La traction de cette hausse qui demeure évitée au courant, tandis que le chevalet et l'arc-boutant sont seuls en prise, est encore une combinaison des plus heureuses, pour opérer au milieu d'une passe qui se surélève d'elle-même, à mesure que chaque élément se ferme.
- 423. Absence de danger. Toutes ces manœuvres, avec un jeu régulier des organes, s'effectuent sans danger de la rive ou de la passerelle, à l'aide d'un simple treuil; et tout est si bien combiné qu'un barragiste exercé, dans des circonstances normales, obtient de ces engins une obéissance telle qu'il semble commencer simplement des manœuvres, qui s'achèvent d'elles-mêmes quand elles ne sont pas spontanées.
- 424. Etanchéité. L'étanchéité de chaque hausse est complète, puisque le panneau est exécuté au chantier et se met en place tout préparé. Il y a bien un joint de 0<sup>m</sup>,10 de largeur entre deux hausses voisines, mais le passage de l'eau peut être obturé comme nous l'avons dit plus haut par un couvrejoint, et alors les pertes se réduisent à leur minimum. Peut-être même serait-il possible, en élargissant les engins et en apportant aux assemblages des pièces mobiles un soin extrême, de réduire encore ce joint de 0<sup>m</sup>,10.

On peut donc affirmer que les barrages de ce genre ont des qualités incontestables, et présentent des solutions aussi ingénieuses que simples de bien des difficultés. Malheureusement, comme on doit toujours s'y attendre quand on n'est pas en face d'une idée d'une très grande simplicité, la pratique révèle un certain nombre d'inconvénients que nous devons passer en revue, pour aider à les éviter.

425. Affouillements. — L'assaissement subit de la retenue peut être un danger pour le radier. Ce n'est pas impunément qu'on laisse tout un bief se déverser dans celui qui le suit; l'abattage en grand est une manœuvre qui ne doit être pratiquée qu'avec la plus extrême réserve, et alors que la chute a en partie disparu. L'abus est tout près de l'usage.

Cet abattage s'exécute, d'ailleurs, dans un ordre constant

réglé par la barre à talons. Il s'ensuit que si l'on n'abat que quel ques hausses, ce seront toujours les mêmes qui tomberont, de sorte que le radier, en face d'elles, sera à toutes les crues attaqué en un point unique, ce qui peut avoir des inconvénients au point de vue des affouillements et des remous.

La mise en bascule elle-même produit un effet du même genre. On peut, il est vrai, répartir l'écoulement comme on le veut dans la passe, en ne touchant pas la barre à talons; mais chaque hausse qui bascule ouvre passage à une nappe fluide d'une très grande puissance, dont l'effet local est toujours à redouter.

Basculements spontanés. — L'équilibre des pues, nous l'avons vu plus haut, a aussi ses dangers. C'est ce à lui que les manœuvres sont faciles; mais plus les sessont en équilibre sous la pression normale, plus elles sensibles aux variations de régime des deux biefs. Or, n le remarque, chaque bief qui se vide et qui produit ainsi crue artificielle dans le bief d'aval, éprouve une baisse ble. Il faut le remplir. Ce remplissage employant, pendant temps appréciable, le débit de la rivière, c'est le bief d'aval baisse à son tour, à mesure qu'il subit cette affameur, en que la variation de niveau primitive se répercute sur les inférieurs en s'affaiblissant, il est vrai, mais en s'étenencore assez loin.

il y a des usines sur le cours d'eau principal ou sur les ents, leur force motrice est perturbée, et le Conseil d'État pas hésité à mettre ces perturbations à la charge de l'État. ous les côtés donc, on est amené à cette conclusion qu'il ient de diminuer la sensibilité des barrages, en raison des gers que présentent les basculements spontanés sur le s d'eau.

e à talons n'est rien moins que sûre. Si ces organes ne tionnent pas très souvent, (et nous avons vu que la fréce des manœuvres est un mal) on ne peut plus être sûr x; un caillou, un dépôt, un engrenage qui se casse, suf-

# 426 CHAPITRE XVI. BARRAGES A VANNES TOURNANTES

fisent à empêcher l'abattage et le cas se présente fréquemment.

Le barrage n'est pas immobilisé par cet accident, mais il faut alors opérer à la main, et l'on se trouve loin des conditions de commodité qui constituent un des principaux avantages du système. On attache la hausse à la passerelle, ou au bateau de manœuvre, et par une traction violente vers l'amont on détache légèrement l'arc-boutant de son arrêt, afin de supprimer ou au moins d'atténuer l'énorme frottement que produit la pression entre ces deux pièces. Ceci fait, un ouvrier placé sur la passerelle et armé d'une gaffe coudée, ou monté dans un batelet et placé à l'aval du barrage, pousse l'arc-boutant hors de sa direction, et permet à l'élément tout entier, guidé par le treuil, de descendre sur le radier. C'est là un expédient plutôt qu'une solution; si nous l'indiquons, c'est qu'il est souvent utile pour remédier à l'immobilité de la barre à talons. Notons en passant, ici, que le contre-talon peut avoir en pareil cas de sérieux inconvénients.

Si maintenant nous examinons les opérations du relevage, nous ne les trouverons pas toujours exemptes d'accidents.

428. Positions irrégulières des hausses. — Nous avons déjà vu que la spontanéité du relevage ne se produisait qu'à la condition de ne pas laisser aux vannes leur liberté. Or, cette manière de faire, acceptable pour un barrage neuf, dont on détermine la largeur en conséquence, ne l'est pas pour une passe existante à laquelle on est obligé de conserver toute sa capacité d'écoulement, ou pour une passe profonde où les courants seraient très énergiques. Quand donc la vanne reste libre sur son chevalet, non seulement elle ne se relève pas d'elle-même, mais encore elle subit des effets qui ont besoin d'être connus. Parfois elle s'évite au courant avec assez de prévision pour qu'il faille une traction très énergique, sur la chaîne de volée, pour la faire sortir de cette position d'équilibre; puis, une fois qu'elle en est sortie, le redressement spontané s'accomplit avec une énergie telle que la chaîne de la culasse, violemment tendue tout à coup, peut dérouler le treuil et blesser les ouvriers, s'ils se laissent surprendre. D'autres fois, la vanne en bascule continuera son mouvement de rotation et

viendra s'appuyer sur l'arc-boutant par sa volée, tandis que la culusse se tiendra plus haut que l'axe; il sera très difficile alors de la remettre en place. En un mot, par cela même qu'on fait appel à des forces considérables pour venir en aide à la main de l'homme, on doit s'attendre à de l'imprévu.

C'est dans ce cas que rentrent les ennuis moins fréquents, mais que l'on rencontre encore parfois, dans le jeu respectif des glissières et des arcs-boutants. Tout le monde comprendra du reste qu'avec les corps transportés par les rivières, tels que cailloux, sables, branchages, etc, avec les chutes de leviers, d'outils qui ont lieu nécessairement à l'emplacement des barrages, avec les fractures de chaînes, inévitables après un certain degré d'usure, il y ait dans tous les barrages mobiles des causes nombreuses d'accidents. On ne s'étonnera pas, en outre, si ces accidents sont d'autant plus gênants que les organes sont plus inaccessibles; et, dans ce cas, on redoublera de précautions pour les éviter.

■ 29. Étanchement du joint des hausses. — L'étanchement du joint des hausses est, avons-nous dit, une opération facile à réaliser et efficace, en se servant d'un couvre-joint ou d'une pièce de bois carrée que l'on engage par l'angle et que le courant applique contre les hausses voisines. Nous ne se rions pas complet si nous ne faisions pas remarquer que si le procédé est simple et efficace, il n'est pas sans exiger de l'ouvrier qui l'applique ou des précautions ou une aptitude SP Sciale. Pour placer ce couvre-joint, il faut, en effet, aborder la hausse; si elle est attachée solidement par la volée, rien n est plus simple, et l'on peut s'appuyer sur elle, en l'accostant avec un batelet. Le plus souvent les barragistes se bornent à placer un madrier qui va de la passerelle au sommet de la hausse, et c'est par cet étroit chemin, qu'ils transportent et placent leurs couvre-joints. S'il n'y a pas de passerelle, l'opération devient beaucoup plus malaisée, et ce n'est qu'avec un bateau de manœuvre ancré à l'amont qu'il est possible de l'effectuer. En somme, cet étanchement, bien que réalisable et réalisé, exige des hommes exercés.

430. Défaut d'élasticité au point de vue du régime decaux. — Ensin, nous terminerons cette énumération en faisant observer que les barrages Chanoine, calculés pour une retenudonnée, se prêtent mal à un changement dans le niveau de cette retenue. Entre les deux parties de la hausse, entre la longueur de cette hausse et celle du chevalet, entre la dimension du chevalet et celle de l'arc-boutant, il y a des relationnécessaires qui n'existent plus si l'on vient à modifier une de données de la question. C'est une sorte de défaut d'élastici qui a pour conséquence d'amener à une refonte générale, poune simple modification du régime de la navigation, et nodevons signaler encore ce fait.

En somme, le barrage Chanoine offre à l'ingénieur un en précieux à bien des titres, qui marche de pair avec le barra à fermettes et a reçu la consécration d'expériences longue répétées. Les avantages qu'il présente frappent à première et se reconnaissent d'eux-mêmes, les inconvénients ont contraire besoin d'être signalés pour qu'on puisse mieu remédier. C'est dans ce but, bien plutôt que dans une per de critique, que nous avons insisté sur ce côté de la quest et nous tenons à le constater ici.

Dans le même ordre d'idées, et en vue de faciliter les moy en d'éviter les accidents, nous croyons profitable de reproduzine une instruction destinée aux barragistes de la haute Seine. Elle a été rédigée par M. l'ingénieur Lavollée, et présente toutes les garanties que peut donner une longue pratique jointe à d'intelligentes observations.

#### § VII

#### INSTRUCTION

SUR LA MANŒUVRE DES HAUSSES MOBILES DU SYSTÈME CHANGINE

Les différentes manœuvres que l'on a à exécuter, sur m barrage muni de hausses mobiles du système Chanoine, consistent ;

- 1 A relever une hausse complètement couchée sur le radier ;
- ≥ A coucher sur le radier une hausse relevée;

→ A manœuvrer une hausse pour régler la retenue, le bar-

Nous examinerons successivement ces différentes opérations, supposant connus les différents mécanismes des hausses et es appareils, qui peuvent d'ailleurs varier sans que les princip ales dispositions de manœuvre changent d'une façon sensitité.

Manœuvre de relévement. — L'opération, qui consider à mettre debout une hausse couchée sur le radier, sécute au moyen d'un treuil porté soit par un bateau de mœuvre, soit par une passerelle établie à l'amont. Dans tous cas, l'éclusier doit, avant de commencer la manœuvre, ifier si les barres à talons sont bien à leur place, c'est-à-dire sposées pour l'abattage; il est bon en outre qu'il fasse fonction ner à vide les barres, afin de dégager les sables ou graviers se seraient logés entre elles et le radier.

A - Manœuvre au moyen d'un treuil porté sur un bateau.

Le bateau est placé perpendiculairement au courant, le life de l'arrière, et l'avant étant au milieu, un peu du côté de l'arrière, et l'avant occupé par une poulie de renvoi. Il est amarré par l'arrière et par l'arrière seulement dans la plupart des cas, par l'arrière et par l'avant lorsqu'il doit lutter contre un courant violent. Il est maintenu contre les hausses déjà relevées par un tampon disposé suivant l'inclinaison de ces hausses, et suffisamment imprergé pour s'appuyer sur les hausses au niveau ou audes sous de l'axe de rotation.

La poulie de renvoi doit être dans l'axe de la hausse à rel ever.

L'éclusier est muni d'une gaffe, composée d'une tige en fer de O",30 de diamètre, de 2",50 de longueur, fixée à l'extrémité d'un manche en bois de 4 mètres de long, et terminée par un crochet à 0",70 au-dessus duquel se trouve un anneau. A cet aquean est attachée une corde ayant un développement d'à peu près 15 mètres, passant dans la poulie de renvoi du bateau et

C'est avec cette gaffe que l'éclusier, debout à l'avant du venant s'enrouler sur le tambour du treuil. bateau, saisit la poignée de la hausse. Il lance la gaffe, en la laissant glisser dans ses mains, dans la direction où il suppose placé l'évidement de la hausse, de manière à arriver en amont de la poignée. Il maintient le crochet dans une position telle que, au moment où la gaffe est arrêtée par la poignée d la hausse et engagée au-dessous de cette poignée, il n'ait ple qu'à tourner le manche pour accrocher celle-ci.

A ce moment, l'éclusier donne aux hommes manœuvrant A ce moment, l'ecrusier donne aux nomines manuel s'élètreuil l'ordre de tourner; la hausse est tirée, le chevalet s'élètre de contre le seuil, et l'arc-boutant vient buter contre son heurt

Il est indispensable que la gaffe, dans l'opération du r vement, soit dirigée à peu près suivant l'inclinaison natur de la hausse; lorsqu'elle tire trop verticalement, le chevelet s'arrête avant d'être amené contre le seuil, et le pied de l'

10 J

ME ST

Dans cette circonstance, il n'y a qu'à éloigner le batea de houtant avant de rencontrer le heurtoir. manœuvre. On mouille à cet effet, en amont, une ou deux ancres, à la corde desquelles est amarré le bateau. Mais lorsque le lit du fleuve est sablonneux, et que les ancres glissent, on a recours à un autre moyen. La hausse étanta sa position limite, c'est-à-dire le treuil ne pouvant plus tirer la hausse bien que le chevalet ne soit pas encore dressé comple tement, on amarre au bateau la gaffe qui tient la poignée de la hausse. On prend une seconde gaffe que l'on fixe à la corde du treuil, et avec laquelle on saisit le chevêtre de volée; on met le treuil en mouvement, et, la hausse étant tirée suivant son inclinaison, le chevalet et l'arc-boutant se metten

Il importe que l'éclusier s'assure que l'arc-houtant est hien dans son heurtoir. A cet effet il est utile d'avoir à l'aval un dans leurs positions normales. homme, monté sur un batelet, qui applique contre la hausse elle-même un croc qu'il tient dans sa main. Le choc produit par l'arc-boutant tombant dans son heurtoir est rendu très senpar l'arc-poduant commant dans son martion est renda des sent sible par la secousse imprimée à la hausse, et par suite au croc qui s'appuie sur elle. Quelquefois l'éclusier se fie à son oreille, qui perçoit le bruit du choc; mais ce bruit est souvent trop faible pour être entendu, lorsque la hauteur d'eau est notable et le courant violent. La précaution que nous venons d'indiquer nous paraît plus sûre.

Lorsque l'homme qui se tient à l'aval a senti le choc de l'arcboutant, il avertit l'éclusier qui commande l'arrêt du treuil.

S'il n'a perçu aucune secousse, il cherche avec son croc à ramener l'arc-boutant vis-à-vis du heutoir, en le faisant glisser sur le patin, ou en le soulevant et le remettant dans la glissière, suivant que l'arc-boutant a dévié dans la partie vide du heurtoir ou bien a sauté par dessus le rebord de la glissière.

Les opérations précédentes suffisent, lorsque l'axe de rotation et les vannes papillons sont disposés de telle sorte que la hausse se mette elle-même debout sous l'action du courant. Il faut seulement dans ce cas retenir la hausse, pour qu'elle ne

fra ppe pas violemment contre le seuil.

Lorsqu'il n'en est pas ainsi, la charge sur la volée l'emporte sur celle de la culasse, d'autant plus que le courant est plus fort, et il est nécessaire d'exercer une pression sur cette culasse, afin d'entraîner la hausse dans son relèvement. Quelquesois cette pression ne suffit pas, et il faut en même temps tirer sur la volée, soit au moyen d'une gaffe, soit par l'intermédiaire d'un petit treuil disposé à l'amont du bateau de manœuvre.

Il arrive même, lorsqu'on relève un barrage et qu'il reste une seule hausse à mettre debout, que le courant est tellement intense que des hommes ou un treuil tirant sur la volée ne suffisent plus. On a recours dans ces conditions à un vannage, appuyé contre les hausses voisines, et descendu jusqu'à la profondeur où se trouve l'axe de rotation. Ce vannage amortit le courant et diminue la charge qui s'exerce sur la volée; la pression sur la culasse ne variant pas d'une façon notable, la hausse se met elle-même debout.

### B. — Manœuvre au moyen d'un treuil placé sur une passerelle.

Il fant d'abord relever la passerelle. Si elle est portée sur des fermettes de dimensions restreintes, pouvant être manœuvrées à bras d'hommes, l'éclusier se sert d'un croc ayant la

#### 432 CHAPITRE XVI. BARRAGES A VANNES TOURNANTES

longueur nécessaire, et à l'extrémité duquel est amarré une corde. L'éclusier lance le croc dans la direction des fermettes couchées, et saisit avec le crochet la tête de celle qui doit être relevée; des hommes tirent sur la corde pour aider l'éclusier à la redresser. Lorsque la fermette est verticale, un homme place la barre d'arrêt, puis les deux barres de réunion, et pose les planches de la passerelle au fur et à mesure du relèvement des fermettes.

Lorsque ces fermettes atteignent un certain poids, il est nécessaire de se servir d'un treuil, autour duquel est enroulée la corde du croc. Ce treuil peut se poser sur la partie de la passerelle déjà relevée, en ayant soin de le fixer aux barres de réunion. Il paraît plus facile et plus favorable à l'opération de le placer dans un bateau de manœuvre, disposé en travers du courant comme pour le relèvement des hausses, lorsque le courant n'est pas trop fort, l'arrière dirigé vers la partie encore ouverte du barrage, l'avant du côté de terre où l'on a commencé l'opération. Une poulie de renvoi est fixée à l'avant du bateau, une seconde poulie, mobile, est attachée à la dernière fermette relevée. La corde du croc passe d'abord sur cette seconde poulie, puis sur celle du bateau, et s'enroule enfin sur le tambour du treuil. L'éclusier, se tenant à l'arrière du bateau, lance le croc, saisit la tête de la fermette à relever, et donne aux hommes du treuil l'ordre de tourner. L'opération s'achève comme ci-dessus.

Dans tous les cas, lorsque les fermettes sont grandes, il vaut mieux gaffer du haut d'un bateau que du haut d'une passerelle, afin de diminuer la longueur du croc.

Aussitôt que la passerelle est relevée, l'éclusier doit mettre tous les arcs-boutants dans leurs heurtoirs, ce qui se fait très facilement en amarrant la chaîne de la culasse de la hausse sur le cylindre du treuil, et en imprimant au tambour un mouvement de rotation.

Un homme placé à l'aval dans un batelet suit les mouvements de l'arc-boutant, et, dans le cas où cette pièce aurait dévié, il la met en place avec un croc, comme nous l'avons indiqué ci-dessus dans la manœuvre du bateau.

Lorsque toutes les hausses sont mises en place, c'est-à-dire

en bascule, l'éclusier doit fixer tout de suite les chaînes de la volée au pince-mailles de la fermette, en ayant bien soin de me jamais laisser la hausse à son inclinaison naturelle, mais de tenir la volée à un ou deux degrés au-dessus de l'horizontale : nous verrons plus loin les motifs de cette précaution essentielle.

Pour mettre une hausse debout, on place vis-à-vis d'elle le reuil, dont le chariot est amarré à la fermette au moyen de l'ochets et en outre, pour plus de sûreté, au moyen d'une la fine qui relie le chariot à l'entretoise supérieure de la ferette.

Avant la manœuvre, les deux chaînes sont fixées au monde d'aval de la fermette par des pince-mailles. On enlève du ce-mailles la chaîne de culasse, on la tend et on l'enroule envers sur le petit tambour du treuil. (Le treuil de mature des barrages de la haute Seine est muni de deux bours de diamètres différents, dont les axes sont parallèles qui sont disposés de façon à pouvoir tourner solidairement séparément.) On adapte au grand tambour l'extrémité une chaîne ayant environ 2 mètres de longueur, terminée à autre bout par un pince-mailles appelé stoppeur. On pince vec ce stoppeur une maille de la chaîne de volée et on tourne a manivelle du treuil. La chaîne de culasse se déroule, la chaîne de volée est tirée, tout en restant dans le pince-mailles de la fermette, et la hausse se relève.

L'enroulement en sens contraire de la chaîne de culasse sur le treuil est une précaution qu'il ne faut en aucun cas légliger. En effet, lorsqu'on met une hausse debout, il arrive in moment où elle tend brusquement à se relever elle-même. Cet instant, la chaîne de volée, qui transmet l'effort de traction, se détend tout à coup. Si la culasse n'est pas retenue, à hausse acquiert une grande vitesse dans son relèvement, a vient choquer le seuil du barrage. Ce choc est nuisible à solidité des ouvrages. Mais un danger bien plus grand est à douter. Si l'arc-boutant n'est pas en place, lorsque la hausse relève spontanément, ou si le choc de la hausse contre le suil est assez violent pour faire sauter l'arc-boutant en dehors es son heurtoir, la hausse perdant tout point d'appui retombe

#### 434 CHAPITRE XVI. BARRAGES A VANNES TOURNANTES

vivement en arrière et la chaîne de volée tenduc de nouveau imprime au treuil, en vertu de la vitesse acquise, un mouvement de rotation impossible à maîtriser. Les manivelles s'échappent des mains qui les manœuvrent, et si un homme est penché sur le treuil, il peut être tué par ces manivelles. Cet accident s'est malheureusement déjà produit sur la rivière d'Yonne. Il est évité par l'enroulement en sens inverse de la chaîne de culasse, qui s'oppose au déroulement simultané des deux chaînes, et par la précaution que doit prendre l'éclusier de se tenir complètement en dehors du rayon des manivelles.

Il est utile, pour le même motif, que la chaîne de volée ne quitte pas le pince-mailles de la fermette, afin que le choc ait lieu plutôt sur la fermette que sur le seuil.

C'est aussi pour éviter que l'arc-boutant ne retombe sur le radier que nous avons recommandé plus haut de tenir la hausse à un ou deux degrés au-dessus de l'horizontale. En effet dans cette position, l'arc-boutant supporte un effort de compression qui l'empêche de s'échapper et auquel il ne serait pas soumis si la hausse était inclinée au fil de l'eau, dans la position d'équilibre que le courant tend à lui faire prendre.

Si la chute est assez forte pour qu'on craigne, dans la manœuvre d'une hausse, la rupture d'une partie du treuil ou de ses attaches sur la fermette, il sera bon d'opérer en faisant varier l'inclinaison de cette hausse peu à peu et successivement, de la façon que nous indiquons plus bas dans les opérations avant pour but de régler la retenue.

432. Manœuvres d'abattage. — Lorsque le barrage est muni d'une barre à talons, l'éclusier n'a qu'à tourner l'appareil jusqu'à ce que toutes les hausses se soient couchées sur le radier. Aussitôt après la manœuvre, il doit ramener la barre à talons à sa position initiale, toute prête à abattre le barrage lorsqu'il aura été de nouveau relevé.

Si un accident survient au pignon, si un corps étranger vient à se loger entre le radier et la barre à talons, et l'empêche ainsi de fonctionner, si ensin le barrage n'est pas muni d'une barre à talons, il faut agir directement sur l'arc-boutant pour le faire échapper de son heurtoir. S'il n'y a pas de passerelle, on place le bateau de manœuvre à 7 mètres environ en amont des hausses à abattre et suivant le fil de l'ean. Un homme saisit la hausse soit par la culasse, soit par la volée, comme il peut, avec la gaffe qui sert à relever le barrage et dont nous avons parlé plus haut, et il presse cette hausse contre le seuil, afin de rendre libre l'arc-boutant. Un autre ouvrier se place à côté de la hausse sur un batelet amarré au bateau de manœuvre, et avec un croc ou une lance, il déplace l'arc-boutant de son heurtoir. Quand le barrage est accompagné d'une passerelle, on amarre la chaîne de volée sur le cylindre du treuil et on amène légèrement la hausse en amont, puis on soulève l'arc-boutant soit au moyen d'une gaffe coudée qui est manœuvrée de la passerelle, soit avec un croc tenu par un homme placé à l'aval dans un batelet.

Dès que toutes les hausses sont couchées sur le radier, on procèdé à l'abattage des fermettes de la passerelle. Pour cette opération, on commence par enlever les planches de la première travée, on place la barre à crochet entre les deux premières fermettes, on enlève les deux barres de réunion, et on isole ainsi la première fermette, qui se couche sur le radier après qu'on a eu retiré la barre à crochet. On opère le même pour la fermette suivante, et ainsi de suite jusqu'à re que la passerelle soit complètement abattue.

Si les fermettes sont grandes, il faut avoir soin de ne pas les laisser tomber trop brusquement, et pour cela de les etenir convenablement avec une corde.

433. Manœuvre des hausses pour régler la retenue. — Lorsqu'un barrage est fermé, les manœuvres courantes consistent à relever une ou plusieurs hausses inclinées, afin d'exhausser le niveau de l'eau en amont, et à incliner une ou

plusieurs hausses pour abaisser ce niveau. Elles s'exécutent toujours au moyen d'un treuil se mouvant sur une passerelle. Il convient de laisser une certaine latitude aux éclusiers,

dont la manière d'opérer dépend beaucoup des circonstances et de leurs habitudes. Il y a toutefois des principes dont ils ne doivent pas se départir, dont nous avons déjà énoncé quelques-uns, mais qu'il est bon de grouper ici. Ces prescriptions ont été données aux barragistes de la haute Seine

par M. l'ingénieur en chef Boulé.

L'éclusier doit toujours songer en manœuvrant une hausse que l'arc-boutant peut s'échapper du heurtoir, et que, dans ce cas, la chaîne sur laquelle il agit éprouvera, si la chute est forte, une tension énorme, capable de briser le treuil ou les chaînes au moment où l'on s'y attend le moins.

Pour éviter les accidents :

4º On doit se tenir toujours en dehors du rayon des manivelles;

2º Lorsqu'on met une hausse en bascule, on ne doit jamais lui faire dépasser la position horizontale; il faut maintenir la volée à un ou deux degrés au-dessus de cette position, en fixant convenablement la chaîne de volée au pince-mailles de la fermette. La même précaution est indispensable lorsqu'on relève une hausse;

3° Lorsqu'on agit avec le treuil de manœuvre sur une hausse le barrage étant debout, il ne faut modifier l'inclinaison de cette hausse que peu à peu et successivement; les deux chaîne se (celle de la culasse et celle de la volée) doivent rester fixées aux pince-mailles de la fermette, l'une d'elles ayant seulement un peu de mou, l'autre étant successivement tendue. On doit agir sur la chaîne que l'on tend par l'intermédiaire d'un bout de chaîne fixé au treuil, et terminé par un stoppeur avec lequel on pince la chaîne de la hausse.

On n'imprimera ainsi qu'un léger mouvement à la hausse, puis on déplacera les chaînes pour les fixer par d'autres mailles

à la fermette, et on recommencera l'opération.

En agissant ainsi, le travail sera lent, plus fatigant pour l'éclusier qu'une méthode plus expéditive; mais il évite tout danger. Car si l'arc-boutant s'échappe, si la manivelle du treuil, si une chaîne, le rochet où le crochet fixant le treuil aux fermettes vient à se rompre, il ne se produira qu'un faible mouvement, après lequel le choc se reproduira sur les pince-mailles de la fermette '.

<sup>1.</sup> Cette instruction, rédigée par M. Lavollée, porte la date du 7 mai 1879.

### § VIII

### BARRAGES A HAUSSES TOURNANTES

ET ARC-BOUTÉES DE GRANDE HAUTEUR, SE MANŒUVBANT SANS BARRE A TALONS

A34. Barrage de la Mulatière. — Frappé des inconvénients que présente trop souvent la manœuvre des barres à talons dans les barrages du système de M. Chanoine, M. L'ingénieur en chef Pasqueau a cherché et trouvé le moyen de s'affranchir de cet organe. Soumis à l'administration, son projet a été approuvé le 31 mars 1879, et est actuellement réalisé à la Mulatière, près de Lyon, sur la Saône. Il s'applique à une passe à la fois large et profonde, où l'emploi de la barre à talons eût été peu praticable et où des difficultés spéciales naissent du voisinage du Rhône. En raison de l'importance de cet ouvrage et des modifications qu'il a introduites dans les manœuvres habituelles, nous nous y arrêterons quelques instants, sans oublier pourtant qu'ici encore la consécration de l'expérience est à attendre, pour que l'on puisse porter un jugement définitif.

modification principale apportée par M. Pasqueau aux barrages Chanoine consiste dans l'adoption d'une glissière spéciale, dite à deux crans ou à crémaillère (voir les figures pase 438). Voici la description qu'en donne l'inventeur :

La glissière présente, en avant du heurtoir ordinaire que nous appelons cran d'arrêt, un second heurtoir dont la face verticale forme un angle très aigu avec l'axe du couloir. Nous désignons ce heurtoir additionnel sous le nom de cran de départ, et nous appelons glissière à deux crans l'ensemble de la glissière ainsi modifiée.

" Le relèvement de la hausse se fait comme dans le système ordinaire. Le barragiste tire sur la chaîne de culasse jusqu'à



#### CHAPITRE XVI. BARRAGES A VANNES TOURNANTES 438

### BARRAGE DE LA MULATIÈRE

Système de M. Pasqueau

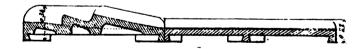
### GLISSIÈRE A DEUX CRANS

Elévation latérale



Flan

Coupe sur AB

















que l'arc-boutant vienne tomber sur le cran d'arrêt. Il est averti de ce fait par le bruit de l'arc-boutant tombant sur la glissière, ou par l'arrivée au treuil d'une maille marquée par un index dans ce but. Il lui suffit ensuite de larguer la chaîne avec le frein pour redresser le panneau et fermer la partie correspondante de la passe.

« L'abattage, au contraire, s'effectue dans notre système d'une manière entièrement nouvelle et des plus simples.

"Il suffit en effet, pour abattre la hausse, de tirer sur la chaîne de culasse pour mettre le panneau en bascule, de continuer la traction jusqu'à ce que l'arc-boutant vienne tomber sur le cran de départ, et de làcher ensuite lentement la chaîne avec le frein du treuil. L'arc-boutant se dirige spontanément vers le couloir par l'action du plan incliné formant la face verticale de ce cran, et la hausse vient se coucher doucement sans aucune espèce de choc, comme si elle était conduite à la main par l'éclusier, jusque sur les dés disposés pour la recevoir."

Ainsi se trouve supprimée la barre à talons. Il suffit d'amener la hausse au delà de sa position normale, en la remontant un peu vers l'amont, pour que l'arc-boutant, quittant son arrêt, tombe dans une rainure où il n'a plus pour appui qu'un plan incliné. Il obéit alors à la poussée de la hausse et

suit cette rainure comme précédemment.

435. Avantages du système. M. l'ingénieur en chef Pasqueau signale les nombreux avantages résultant de cette modification, en dehors même de la suppression d'un organe souvent rebelle.

D'abord, chaque hausse est complètement indépendante de ses voisines; elle contient en elle-même tout ce qui est nécessaire à sa manœuvre, tant à l'abattage qu'au relèvement. Dès lors, la largeur de la passe n'est plus limitée et celle de la Mulatière, en particulier, a pu être portée à 103<sup>m</sup>,60.

L'abattage s'opère sans choc, en déposant chaque vanne sur le radier, et dans un ordre quelconque, ce qui au point de vue des remous et des affouillements est un avantage précieux.

Le nouvel organe est aussi simple, aussi rustique que l'ancien était délicat et compliqué. Il permet mème, si on le jugeait utile, d'ajouter au delà du cran d'arrêt un troisième cran à l'aide duquel on pourrait donner une inclinaison plus forte à la hausse, et fixer l'arête déversante du barrage audessous du niveau normal de la retenue.

Enfin, il est non seulement simple, mais encore économique, d'abord par son prix d'achat qui est à très peu de chose près celui des anciennes glissières, ensuite et surtout parce que, chaque hausse se suffisant à elle-même, on peut fractionner la construction d'un barrage en plusieurs portions séparées par des batardeaux intermédiaires, ce qui est une grande facilité de construction.

436. Modifications dans les dispositions des engins. Indépendamment de cette modification de principe, M. l'ingénieur en chef Pasqueau en a introduit un certain nombre d'autres, qui sont dues soit à des circonstances locales, soit aux dimensions considérables de l'ouvrage. La retenue d'amont s'élève à 4 mètres au-dessus du seuil, et la chute à l'étiage du Rhône peut varier de 2<sup>m</sup>,60 à 3<sup>m</sup>,60; en outre, la croissance rapide des crues de ce fleuve, jointe à la nécessité de se donner quelques heures, a conduit à placer la passerelle de service à 2 mètres au-dessus de la retenue normale.

Pour répondre à ce programme, voici les dispositions

adoptées.

Les hausses ont 4",36 de hauteur sur 1",40. Elles sont articulées en leur milieu, et par suite ne sont pas automobiles. Leur inclinaison sur la verticale est de deux septièmes, pente très accusée qui a dû être adoptée pour réduire autant que possible l'effort d'arrachement sur le radier.

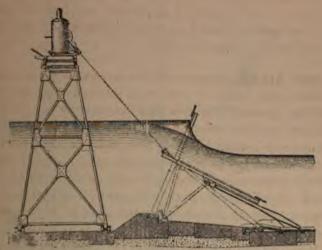
Elles sont manœuvrées par un petit treuil à vapeur circulant sur une passerelle à fermettes (voir les figures ci-après). On compte huit heures pour le relèvement et quatre heures et demie pour l'abattage sur toute la largeur de 103",60,

Les hausses portent à leur partie supérieure un papillon de 1,55 sur 0,90, que des engins spéciaux permettent de fermer et d'ouvrir avec facilité.

Elles sont métalliques. La carcasse se compose de fers en U supportant un bordage en tôle de 4 millimètres, ourlé d'une cornière de 0,06.

Le chevalet n'est plus fixé au radier par des coins en hois, comme dans les barrages dont nous avons déjà parlé. Les deux montants sont terminés par un œil qui se fixe dans un palier scellé au radier, au moyen d'un boulon d'acier goupillé sur rondelle à ses deux extrémités.

Le seuil en hois est remplacé par un seuil en fonte, et cette



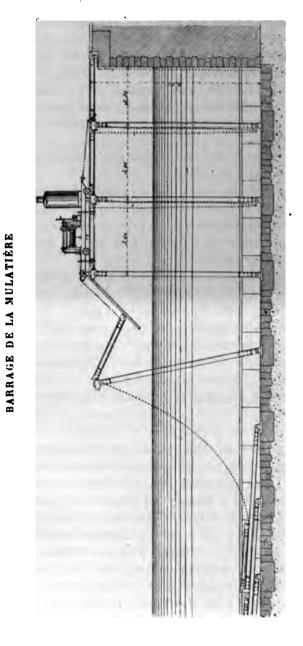
Le barrage de la Mulatière. Abattage ou relèvement des hausses

substitution est sans inconvénient, puisque les hausses, articulées en leur milieu et manœuvrées exclusivement au treuil, ne sont plus exposées à choquer et à marteler leur appui.

La passerelle est portée sur fermettes de 6<sup>m</sup>,80 de hauteur; or, avec cette dimension, si l'on avait placé une fermette par hausse on aurait eu une superposition de six fermettes nécessitant une enclave de 1<sup>m</sup>,20 de profondeur très génante au point de vue des ensablements et même de la construction première. On a préféré espacer les fermettes de 3 mètres et les réunir par un tablier métallique adhérent aux fermettes et se repliant avec elles lorsqu'elles se couchent sur le radier. Pour éviter que ces tabliers augmentent l'épaisseur de chaque



## 442 CHAPITRE XVI. BARRAGES A VANNES TOURNANTES



Manœuvre des fermettes.

élément replié, on a adopté une disposition fort simple qui permet au tablier d'avoir une portée un peu moindre que l'espace qu'il franchit et, par conséquent, de n'être jamais engagé sous la fermette suivante. Chaque fermette porte à sa partie supérieure deux axes distincts espacés de 0<sup>m</sup>,34, qui servent l'un à l'articulation du plancher, l'autre à l'accrochage du plancher suivant. On assemble les éléments voisins pour constituer passerelle au moyen d'une gaffe de garde manœuvrée par le reuil à vapeur.

La dernière travée est franchie par une passerelle roulante

qui se replie sur la culée voisine.

Enfin les fermettes, ainsi que le montre la figure de la page 441, sont de forme trapézoïdale, symétriques, et conçues que de servir de simple support plutôt que d'organe de résister à la traction des hausses

s exercant par le treuil à vapeur.

Tel est sommairement le barrage de la Mulatière, qui mérite tout à fait de fixer l'attention de l'ingénieur, tant par ses dimensions que par les innovations qu'il réalise. Tout y est sonné, calculé jusque dans les plus petits détails avec un minutieux, et nous avons la conviction que beaucoup des dis positions adoptées passeront des à présent, définitivement, dans la pratique. La glissière à crémaillère est notamment simplification immense et ouvre une voie nouvelle. Nous cons espérer que l'expérience sanctionnera ces prévisions ; Peut-être rencontrera-t-on quelques difficultés de manœuge; peut-être aura-t-on quelques hésitations pour recontre, avec une chute un peu forte, que l'arc-boutant est bien son arrêt ; il se pourrait encore, avec des vannés articulées leur milieu, que le basculement des hausses amenat des ousses un peu violentes sur le treuil. Enfin, en cas de glaces de corps flottants, n'éprouvera-t-on pas quelques difficultés Tamener, malgré les obstacles, chaque élément vers l'ant, afin que l'arc-boutant puisse rejoindre son cran de dé-Part? Une expérience prolongée décidera, aussi bien sur points prévus que sur le chapitre de l'imprévu. La conp tion est heureuse, profitable à tous, et nous semble réaliser un notable progrès pour l'établissement des grandes retenues.





#### CHAPITRE XVII

### BARRAGES A APPAREILS MOBILES

MUS PAR LA CHUTE ELLE-MÈME, ET AUTRES

#### SOMMAIRE:

§ 1. Appareils de faible ouverture : 437. Portes à vantaux en forme de V. — 438. — Portes à vantaux valets. — 439. Portes Fourneyron. — 440. Barrage américain de la Neuville-au-Pont. — 441. Défaut général de ces appareils. § 2. Grands barrages actionnés par lu chule : 442. Barrage à tambour de M. Louiche-Desfontaines. — 443. Efforts qui s'exercent sur chaque élément

du barrage. — 444. Avantages et inconvénients. — 445. Résumé sur le barrage Desfontaines. — 446. Barrage Girard.

Fage Desionaines. — \$40. Barrage on ard.
3. De quelques systèmes proposés pour barrages mobiles: 447. Barrage à souspression de M. Carro. — 448. Barrage à vannes roulantes, du même ingénieur. — 449. Vannes de M. Krantz. — 450. Barrage de M. Cuvinot. — 451. Barrage de M. Maurice Lévy. — 452. Hausses pivotantes de M. le conducteur Boidot.

#### Figures dans le texte :

Portes à vantaux en forme de V, art. 437. — Portes à vantaux valets, art. 438. Portes Fourneyron, art. 439. - Calcul des efforts qui s'exercent sur chaque élément du barrage Desfontaines, art. 442.

#### Petites planches:

Barrage américain de la Neuville-au-Pont (Haute-Marue), art. 440. — Barrage de Joinville-le-Pont, coupe transversale du déversoir, art. 442. — Barrage Girard, art. 446.

Tout barrage implique une chute, et toute chute représente une force motrice; il est naturel, dès lors, que l'on cherche à appliquer à la manœuvre du barrage la puissance même qu'il crée. Aussi nous trouvons-nous en face de très nombreux essais dans cet ordre d'idées; mais nous ne nous arrêterons en génénéral qu'à ceux qui ont reçu la consécration de la pratique.

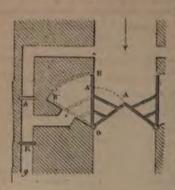
### § let

## APPAREILS DE FAIBLE OUVERTURE

# 437. Portes à vantaux en forme de V. —

s'agit d'ouverture de passes d'une faible largeur, d'écluse par exemple, le problème est simple. Il a été puis longtemps en Hollande par l'emploi de portes d'truction spéciale, et d'aqueducs communiquant te l'amont, tantôt avec l'aval.

La figure représente une des dispositions]pratiqu



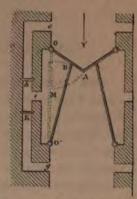
portes busquées semble sont fixées à deux aut plus grandes OB, par toises qui les rendent tout le système est mol de l'axe O, de façon à p tionner ou dans le cans l'enclave en forme (OBB', qui l'avoisine. clave elle-même commu un aqueduc qui va de l'aval, et deux vannes de l'aval, et deux et l'aval, et de

mettent de mettre l'aqueduc en communication aveniefs.

Si, la retenue étant haute, on veut ouvrir les ferme la vanne h et on ouvre la vanne K; la pressie avec plus d'intensité sur OB que sur OA, puisque la n'est pas la même, et le secteur s'efface dans l'es passe est alors libre.

Pour remettre les choses en place, on ouvre h e K. La pression s'exerce alors en OB' et repousse secteur, lequel reprend d'autant plus vite sa ple courant descendant pèse sur le vantail OA, une for vement commencé. \*\*\* Porte à vantaux valets. — La figure montre une autre disposition : les portes à manœuvrer OA sont busquées

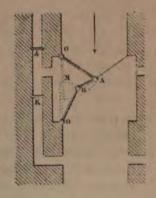
vers l'aval, et le courant les ouvrirait si elles n'étaient soutenues par deux vantaux valets O'B, mobiles autour de O' et agissant sur OA par l'intermédiaire de galets ou de glissières. Pour ouvrir, on ferme la vanne h et on lève la vanne K; la porte valet obéit alors à la pression qu'exerce la retenue sur la porte OA, et tout le système se replie dans l'enclave. Pour fermer, on abaisse la vanne K et on lève la vanne h; la



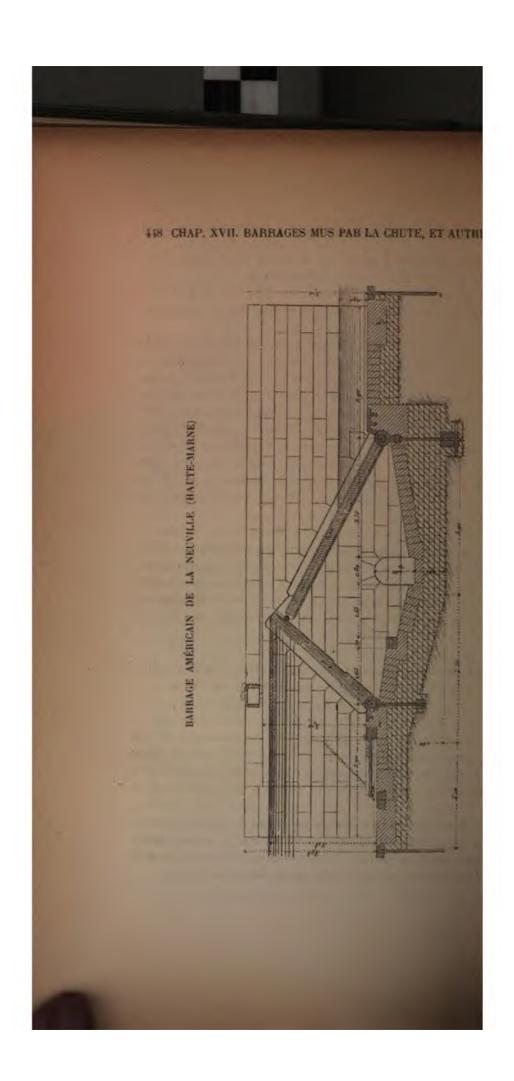
Pression qui s'exerce sur O'B, très notablement plus grand que OA, détermine la fermeture des vantaux.

439. Portes Fourneyron. — M. Fourneyron avait pro-Posé de composer chaque vantail d'une porte articulée OA BO'.

mobile autour de deux axes fixes en 0 et en 0' et munie d'axes verticanx en B et en A. Si la vanne h était fermée et la vanne K ouverte, le vantail devait se replier, OA devait rejoindre O'B, BA se placer entre les deux et le tout s'effacer dans l'enclave. La vanne h levée et la vanne K fermée, le vantail, sous la poussée du bief d'amont, se serait au contraire déplié et aurait rejoint son symétrique en fermant la passe. Ce projet n'a pas été exécuté.



1a Neuville-au-Pont (Haute-Marne) est d'origine américaine.
Il consiste en deux portes à axes horizontaux (voir la pl. de page 448) qui se rabattent l'une sur l'autre quand le passage est libre, et forment au contraire un triangle lorsque la retenue



est tendue. La porte d'amont est alors une vaste hausse Thénard de 9 mètres de largeur et de 4 mètres de longueur, tandis que la porte d'aval joue le rôle d'une béquille de 6 mètres de longueur, articulée à sa base et roulant sur sa hausse au moyen d'un galet.

Quant à la manœuvre, elle est produite par le jeu d'un aqueduc qui débouche dans une cavité du radier. Quand cet aqueduc est en communication avec le bief d'amont, il y a, sur la face inférieure des portes, une sous-pression qui les soulève. Quand il est au contraire en communication avec le bief d'aval, il y a sur la porte d'amont un excès de pression qui fait céder tout le système et l'aplatit sur le radier.

Pour l'emploi de ce mécanisme, comme du reste pour l'usage des autres appareils dont nous venons de parler, on éprouve toujours une grande difficulté de fonctionnement au moment où la chute est faible. A la Neuville, on y a remédié en plaçant en amont des portes des vannes mobiles, que l'on relève à la main pour déterminer une certaine chute susceptible d'ébranler les appareils et de commencer le mouvement; puis, lorsque la hauteur de ce barrage provisoire est atteinte, on le rabat comme nous avons vu qu'on le faisait pour les contrehausses de M. Thénard. La sous-pression fait alors le reste.

A1. Défaut général de ces appareils. — La description le sommaire que nous venons de donner de ces divers appareils, suffit à en faire comprendre le principe; quant à l'application, on conçoit qu'elle est d'autant plus difficile que le pertuis à fermer est plus large, et que les ressources en eau moins abondantes. On se trouve le plus souvent, dans pratique, en présence d'engins très lourds et de pertes très considérables, de telle sorte que quand la force motrice n'est l'état naissant elle se trouve absorbée tout entière, sans effet utile, et l'on est exposé à voir les engins mobiles rester en place. Cette déception est surtout à craindre après que des dépôts ou même l'usure ont modifié les conditions de hom fonctionnement qu'on avait pu se donner au début.

450

### § II

### GRANDS BARRAGES ACTIONNÉS PAR LA CHUTE

442. Barrages à tambours de M. Louiche-Desfontaines. — Malgré les difficultés sans nombre qui résultent de la situation que nous venons d'indiquer, une application aussi complète qu'ingénieuse du principe a été réalisée par M. l'inspecteur général Louiche-Desfontaines sur les passes hautes des barrages de la Marne, et ce principe est ainsi entré dans la pratique. Onze passes de 50 mètres de largeur environ sont munies d'appareils qui portent le nom de leur inventeur. La première application, celle de Damery, remonte à 1857; la plus récente, celle de Joinville-le-Pont, date de 1867; elle est due à M. l'inspecteur général Malézieux. C'est donc avec une expérience qui dépasse vingt années qu'il est possible d'apprécier la valeur du système.

Hausse et contre-hausse. — La retenue est formée par une suite de vannes métalliques de la forme indiquée à la planche de la page 452, mobiles autour d'un axe placé à peu près au milieu de leur hauteur. La partie supérieure, rectiligne, qui relève le niveau des eaux, est la hausse; la partie inférieure, emprisonnée et courbe, est la contre-hausse; elles sont reliées ensemble par des bras en fer, traversés par l'axe, qui les rendent complètement solidaires.

Tambour. Diaphragmes. — Chaque contre-hausse décrit un quart de cercle dans une cavité circulaire ménagée dans le radier et sa génératrice inférieure en suit la paroi, à quelques millimètres près. Latéralement, deux diaphragmes sont scellés dans les maçonneries, à une distance de 4<sup>m</sup>,50 l'un de l'autre. Ils supportent l'axe de rotation et encadrent le mouvement de la contrehausse sur les deux côtés, en sorte que chacune de ces dernières pièces se meut en quelque sorte à frottement doux dans la cavité mi-maçonnée, mi-métallique qui la contient. Le mouvement est limité du côté d'aval par un seuil sur lequel

Plaques de recouvrement— Deux plaques horizontales, de tôle ou de fonte, l'une en amont, l'autre en aval de la hausse, ferment la cavité du radier en s'ajustant sur l'axe à peu près hermétiquement, en sorte qu'en somme la contre-hausse, dans son alvéole, peut jouer le rôle d'un piston dans un cylindre. Suivant que la pression de l'eau agira sur elle par une face ou par l'autre, elle décrira un quart de cercle que décrira également, mais en sens inverse, la hausse qui lui est liée.

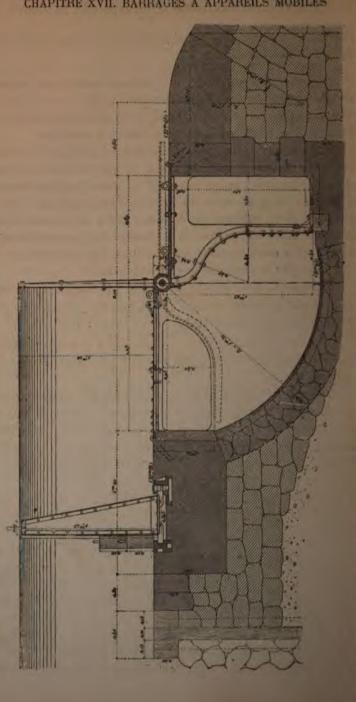
Tous les diaphragmes, au droit des espaces extrèmes que n'atteint pas la contrehausse, sont percés de deux orifices dont la section est d'environ 0<sup>mq</sup>,40, et le couloir formé par cette succession d'orifices peut être mis, par un jeu de vannes, en communication soit avec le bief d'amont, soit avec le bief l'aval, à volonté.

Le fonctionnement de l'appareil est des plus simples :

Barrage debout. — Prenons le barrage dans la situation indiquée sur la planche, c'est-à-dire debout; à ce moment, le couloir d'amont communique avec le bief d'amont et le couloir d'aval avec le bief d'aval. La pression qui s'opère alors sur la contre-hausse la fixe à son seuil et maintient verticale la hausse, qui est soumise à une pression moindre.

Manœuvre d'abattage. — Mettons le couloir d'amont en communication avec le bief d'aval; alors la contre-hausse, égalent pressée sur ses deux faces, sera indifférente, et la sse, subissant seule la pression d'amont, se couchera. On drait la manœuvre encore plus prompte en mettant en munication le couloir d'aval avec le bief d'amont.

Manœuvre de relèvement. — Fermons maintenant la communication du couloir d'amont avec le bief d'aval, et ouvrons coule qui l'unit au bief d'amont; mettons d'ailleurs le couloir d'aval en contact avec le bief d'aval. L'eau agira sur la face antérieure de la contre-hausse avec plus d'intensité que n'agissent les couches supérieures sur la hausse; et celle-ci se



Manœuvre intermédiaire. — Enfin ne faisons que partiellement les manœuvres, il arrivera que les effets seront intermédiaires, et qu'un certain nombre de hausses se tiendront debout, pendant que les autres demeureront couchées.

On aura donc obtenu, successivement, l'abattage et le redressement, en totalité ou par parties, ce qui témoigne en faveur de la précision des mécanismes. M. Louiche-Desfontaines avait d'ailleurs imaginé pour les aqueducs qui amènent l'eau aux couloirs, des combinaisons de manœuvres extrêmement ingénieuses, grâce auxquelles, avec un seul déplacement de balancier, tout le système obéit. Ajoutons que les mouvements sont doux, faciles et exempts de chocs violents.

On trouvera tous les détails relatifs à ce remarquable engin dans le mémoire qu'a publié M. Malézieux. (Annales des ponts et chaussées, novembre 1868.)

Toutefois le barrage de Joinville qui a été décrit dans ce mémoire, est dépourvu d'une addition que nous devons faire connaître.

Nous avons vu tout à l'heure qu'à l'aide de variations dans la pression, on pouvait obtenir l'ouverture du barrage, sa ferme-Lure, ou même une position intermédiaire dans laquelle un mombre plus ou moins considérable de hausses sont abattues, Le reste demeurant debout. Dans cette dernière situation on Congoit facilement que les hausses sont dans un état d'équi-I ibre instable, et que la moindre variation de régime dans le cours d'eau entraîne ou la chute des hausses qui sont restées ebont, ou le relèvement de celles qui s'étaient couchées. Pour maintenir cette demi-ouverture, il faudrait que le barragiste emeurat constamment la main sur ses mécanismes, réglant L'écoulement de ses aqueducs comme on réglerait un robinet istribuant l'eau d'un réservoir à niveau variable. Il s'ensuit que si l'on peut, expérimentalement, et pour quelques instants btenir de la passe l'état d'ouverture que l'on s'est fixé d'avance, cet état n'est pas stable. En fait, au bout d'un certain Lemps, la passe se modifie d'elle-même et arrive le plus souvent à être ouverte ou fermée en grand, c'est-à-dire à prendre une position stable.

M. Desfontaines s'était proposé d'obtenir avec sécurité une demi-ouverture du barrage, et voici le procédé qui a été appli-

qué à neuf des barrages de la Marne.

Béquilles et barres à coches. — Chaque hausse a été armée d'une béquille analogue à l'arc-boutant des hausses Chanoine, avec cette différence qu'elle coule dans une glissière simple, dépourvue de toute espèce d'arrêt. Dans le sens perpendiculaire au mouvement des béquilles, c'est-à-dire suivant le sens du barrage, on a placé, à travers les glissières, une barre dite à coches, manœuvrée de la rive par un cric, absolument comme la barre à talons. Ces barres à coches sont de simples cornières dont le côté vertical a été enlevé par places et conservé dans d'autres, de manière à présenter à la fois au droit de toutes les glissières, tantôt un vide et tantôt un plein. Dans le premier cas, la hausse en s'abattant ne rencontre aucun obstacle et se couche; dans le second, elle s'arrête en chemin et maintient la retenue au niveau qui correspond à l'arrêt de tout le système.

Avec une seule barre à coches, on peut diviser la retenue en deux parties égales, avec deux barres, on la diviserait en trois, etc., et l'on obtiendrait ainsi des retenues de hauteur variable, en telle quantité qu'on le jugerait utile, si la multipli-

cité des engins n'était une complication à éviter.

On remarquera toutefois que les barres à coches présentent moins de chances d'accidents que les barres à talons. D'abord, dans les applications faites jusqu'ici, elles ont toujours été placées au-dessus de l'étiage, ce qui les rend plus aisément-accessibles; en second lieu, elles ne sont jamais chargées quand on les manœuvre. Pour les placer en telle position que les besoins l'exigent, on commence toujours par relever le barrage en grand, ce qui les dégage de toute pression, et il n'y a plus que les frottements à vaincre; ils ne sauraient être considérables pour peu que l'exécution soit soignée.

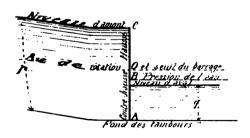
Nous ne pouvons entrer dans tous les détails que comporte la construction d'un semblable ouvrage, qu'on peut appeler de précision. Nous nous bornerons à dire que des grilles placées aux abords des aqueducs empêchent l'introduction des corps flottants dans les tambours des contre-hausses, et que la disposition de ces mêmes aqueducs permet d'y effectuer des chasses pour en enlever la vase. Au barrage de Joinville, en outre, M. Malézieux a eu l'heureuse idée de placer sur la pierre qui forme, à l'amont, le seuil des tambours, une suite de petites fermettes mobiles sur lesquelles on peut appuyer des madriers et une bâche imperméable. On forme ainsi un bâtardeau qui soutient la retenue, et l'on peut, alors, démonter les plaques de recouvrement qui ferment les cavités, et y faire tous les nettoyages et toutes les réparations nécessaires.

443. Efforts qui s'exercent sur chaque élément de barrage. — Cherchons maintenant à nous rendre compte des efforts qui s'exercent sur chaque élément, hausse et contre-hausse réunies.

Le système peut être dehout, en mouvement, ou couché.

Effort quand l'élément est debout. — Si le système est debout, en supposant la retenue arasée au sommet de la hausse, les pressions qui s'exercent sur la hausse et la contre-hausse sont les pressions statiques dues aux hauteurs d'eau existantes en amont et en aval. Ceci est encore vrai pour une mince lame déversant par-dessus la crète; il n'en serait plus de même si cotte lame déversante prenait assez d'importance pour changer se uniblement les lois de l'écoulement, mais nous ne nous arrête rons pas à ce second cas, car alors le barrage devrait s'ouver ir en partie ou en totalité. Restons donc dans la pre-hypothèse.

A P Pelons, comme nous l'avons fait précédeniment :



. 1

p la hauteur d'eau à l'amont, au-dessus du fond des tambours ou de l'arête inférieure de la contre-hausse;

y la hauteur d'eau à l'aval, au-dessus du même ni-

m le rapport de la longueur de la hausse à la hauteur totale de l'élément mobile, de telle sorte que cette longueur de la hausse soit mp, la longueur de la contre-hausse étant alors (1-m)p.

Si nous prenons par rapport au point A les moments des pressions qui s'exercent sur le système, quand la hausse est debout, nous trouvons ici encore  $\frac{p^2-q^3}{6}$  et, comme la force totale est  $\frac{p^2-q^2}{2}$ , le point d'application de cette force sera à une distance du point A représentée par la ligne AB et par l'expression  $\frac{p^2+pq+p^2}{3(p+q)}$ .

Si maintenant nous prenons les moments par rapport à l'axe de rotation de tout l'élément, placé à une distance (1 - m) p du point A, nous trouverons pour le moment de stabilité

$$\frac{p^{s}-q^{s}}{2}\times OB$$

ou

$$\frac{p^{*}-q^{*}}{2}\times\left(\left(1-m\right)p-\frac{p^{*}+pq+q^{*}}{3\left(p+q\right)}\right)$$

ou en simplifiant

$$\frac{(p-q)\left((2-3\,m)\,(p^*+pq)-q^*\right)}{6}\,\ldots(1).$$

Nous voyons déjà que ce moment peut être nul de deux manières, suivant qu'on égale à zéro l'un ou l'autre de ses facteurs. Si p = q, en effet, le système est indifférent, puisqu'il n'y a ni pression ni contre-pression.

Il est nul également si

$$q^2 = (2 - 3 m) (p^2 + pq)$$

Dans ce cas, on a encore deux solutions : ou  $m = \frac{2}{3}$  avec q = 0, c'est-à-dire la hausse équilibrée par la contre-hausse sous la pression unique d'amont, ou

$$q = \frac{p}{2} ((2-3m) + \sqrt{(2-3m)(6-3m)}).$$

C'est la hauteur du bief d'aval qui, pour une valeur donnée de m, fait passer la résultante des forces par l'axe même.

Constatons accessoirement que si, comme l'a voulu M. Desfontaines, on fait m = 0.50, on trouve:  $q = \frac{p}{2}(0.50 + 1.50) = p$ . C'est-à-dire que pour détruire la stabilité, avec les dispositions qu'il a choisies, il faut que le bief d'aval remonte au niveau du bief d'amont, quand la hausse est égale à la contre-hausse, ce qui est évident a priori.

Reprenons à présent le moment de stabilité représenté par l'expression (1), etdemandons-nous quelle force il faudrait appliquer au point C pour vaincre cette stabilité. C'est une question qui a son importance, comme nous le verrons plus tard.

Cette force s'exerçant à l'extrémité du bras de levier OC, égal à mp, son expression sera

$$F = \frac{(p-q)(2-3m)(p^*+pq)-q^*)}{6mp}...(2).$$

Si, comme l'a fait M. Desfontaines, on place la passe assez haut pour que le fond des tambours soit à peu près au niveau de l'étiage, on a q=0; si, en outre, on fait p=2,00 et m=50, ce qui est le cas moyen des barrages de la Marne, l'expres sion se réduit beaucoup et devient

$$F = \frac{p^* \times 0.50}{3p} = \frac{p^*}{6} = 0.666.$$

C'est-à-dire qu'il faut à chaque hausse, pour la faire basculer, un effort de 666 kilos par mètre courant, s'exerçant sur l'arête supérieure, sans compter les frottements.

Cette stabilité est loin d'être indispensable, et il en résulte que les niveaux des biefs peuvent être relevés sans danger sérieux. Supposons, par exemple, qu'on les ait relevés de  $0^m$ ,50 et qu'ainsi p=2,50, q=0,50, l'axe restant à sa place primitive, c'est-à-dire m devenant égal à 0.60. On trouve alors

$$\mathbf{F} = \frac{2,00 \times (0,20 \ (6,25 \ + \ 1,25) \ - \ 0,25)}{3,60 \times 2,50} = \frac{2,50}{3,60 \times 2,50} = 0,277.$$

ce qui revient à dire qu'il faut sur l'arête supérieure un effort

de 277 kilos par metre concent on de 145 kilos par hanste de 1°,50 de largeur, pour faire basculer l'élément, sant tenir compte des feutiements.

Li m, un lieu d'exercer la poussée sur l'arête supérieure, on agit un centre de la housse, le bras de levier étant diminuéde moitié. l'effort nécessaire sernit de 830 kilon dans le demier cas que nous venous d'examiner.

Il est donc facile, une fois qu'on s'est donné les valeurs de p, de q et de m, de trouver lesforces qui régissent le système et de calculer, soit l'équilibre de chaque élément, soit la résitance des pièces qui le constituent, pour le cas où la relence demente tenéne.

Effort dans le cas où l'élèment est en mouvement. —Si l'élèment est en mouvement, les forces qui agissent sur lui échapeut complètement au calcul. Il n'est pas nécessaire, du reste, de s'en préoccuper, puisque ces forces sont moindres qu'al'étal de repos. Nous en parlons ici, seulement pour faire observer qu'au bout de chaque manœuvre se trouve un arrêt brusque, c'est-à-dire un choc, qui, hien qu'assez faible, exige des ménagements. On veillera donc sur ce choc, en manœuvrant les vannes des aqueducs, et on ralentira l'introduction ou le départ des eaux au moment où la retenue, en s'accentuant ouen disparaissant, accélère notablement les mouvements.

Effort dans le cas où l'élément, abattu, tend à se relever.
Si nous passons au cas où l'élément abattu tend à se relever.
nous sommes ici encore en face de forces bien difficiles à apprécier.

La contre-hausse couchée, et actionnée par le bief d'amont n'est plus sur un appui ; elle laisse place sur tout son pérmètre à un écoulement qui diminue notablement la pression qui agit sur sa surface. Comme d'ailleurs l'aqueduc d'amende des eaux est forcément petit et sinueux pour se loger dans les maçonneries, il donne lieu à une nouvelle perte de charge et, en somme, l'effort de relèvement est très loin de la valeur statique due aux niveaux des biefs.

D'autre part, la lame déversante, animée d'une vitesse considérable, frappe la hausse lorsqu'elle tend à se relever, et eppose à son mouvement une résistance d'autant plus incomme

### § II. GRANDS BARRAGES ACTIONNÉS PAR LA CHUTE

qu'elle varie avec les circonstances diverses de l'écoulement.

Enfin, il y a les frottements qui sont loin d'être négligeables, pour peu que l'ajustage soit assez précis; et il faut qu'il le soit, pour que les couloirs aient une étanchéité suffisante.

Toutes ces causes réunies sont retardatrices et d'autant plus actives que la hausse est plus grande par rapport à la contre-hausse. Si l'on veut donc effectuer le relèvement de bonne heure, au déclin des crues, c'est-à-dire quand la chute est encore peu sensible, on est conduit à rendre aussi faible que possible le coefficient m, c'est-à-dire à faire prédominer la longueur de la contre-hausse.

Mais dans quelle mesure? C'est ce qu'il est bien difficile de déterminer. On peut toutefois s'en faire une idée par une expérience que rapporte M. Malézieux. « Le 5 mars 1868, dit-il dans son mémoire, l'eau étant à 2<sup>m</sup>,14 en amont du barrage de Joinville, et à 1<sup>m</sup>,40 en aval, le relevage exigeait douze minutes. » Or, à ces nombres correspondent pour le barrage de Joinville les données suivantes, le zéro des échelles étant à l'étiage, et l'arête inférieure de la contre-hausse à 0<sup>m</sup>,20 audes sous:

$$p = 2^{m}.34$$
  $q = 1^{m}.60$   $m = \frac{1.14}{2.34} = 0.487$ .

Dans ces conditions l'effort statique serait, si la hausse était de out, d'après la formule (2), page 456:

$$\frac{(2.34-1,60)((2-1,461)(5,48+3,74)-2,56)}{6\times0,487\times2,34} = \frac{0.74\times2.42}{6.84} = 262.$$

t si cet effort, au lieu de s'appliquer à l'arête extrême, agains sur le centre de figure de la hausse, il devrait être double, c'est-à-dire de 524 kilogrammes.

lest donc permis de penser qu'au delà des crues, alors que le viveau de la rivière commence à se tenir au-dessous du niveau normal de la retenue, la chute étant alors 0<sup>m</sup>,75, toutes les pertes et les forces passives qui agissent sur le système corres pondent à peu près à un effort statique de 500 kilos par

mètre carré de surface de contre-hausse 1. Nous ignorons quelle est la part qu'il faut faire au choc de la lame déversante, aux pertes de charge et aux frottements, mais nous sommes porte à croire que les frottements n'ont qu'une influence insignifiante, et que la très grosse part doit être attribuée à la pression exercée sur la hausse par le déversement.

Nous rappelons d'ailleurs que nous n'avons en rien prétenda calculer l'ensemble de ces résistances ou pertes; mais simplement en donner une idée au moment du déclin des crues, alors que l'on doit songer à obtenir le relevage des hausses. Les conditions rapportées par M, Malézieux sont d'ailleux celles qui ont été observées depuis ; et les barrages de M. Desfontaines ne se relèvent d'eux-mêmes que quand la crue s'est assez abaissée pour que les parties fixes des ouvrages en lit de rivière aient donné naissance à une chute de 0m,60 à 0m,80.

444. Avantages et inconvénients. - Passons mainlenant à l'examen des avantages et des inconvénients de ce type de barrage mobile.

Facilité d'abattage. - Le principal avantage qu'il présente c'est sa facilité d'abattage. Sous quelques tours de clef, les hausses se couchent aussi lentement, aussi rapidement que l'on veut et l'obéissance est absolue. Cette qualité est précieuse pour le passage des glaces et des corps flottants, don l'écoulement est ainsi assuré. La manœuvre d'abattage n'au rait pas été exécutée que, sous une pression énergique, les

1. Le nombre indiqué serait plutôt un minimum qu'une moyeme. Lon

4. Le nombre indiqué serait plutêt un minimum qu'une moyeme. Les du relevage des barrages de ce genre, les hausses ne prennent la position verticale que les unes après les autres. Or, l'effet qui les tient debout el inférieur à celui qui les relève, abstraction faite même des résistances presives; on peut s'en convaincre aisément.

En effet, quand le barrage est couché, hausse et contre-hausse sont inferentes, et la charge qui agit sur la contre-hausse est précisément égale la chute. Si donc le barrage ne se relève que quand la chute est de 0°.74, c'est que les résistances passives, jointes aux pertes, équivalent à 740 kilon par mêtre carré de surface, au début.

Un peu plus tard, le relevage trouve une force auxiliaire dans la vice acquise des liquides. Ainsi, lorsqu'une contre-hausse arrive à sa position verticale, l'écoulement qui se faisait dans tout son pourtour s'arrête bauequement; il en résulte sur la hausse voisine un choc qui aide à vaincre su inertie et permet à l'effort de relèvement de se modèrer à mesure que la hausse marche, pour arriver enfin à la force que nous avons calcule un moment où elle est debout.

bausses s'inclineraient et n'auraient à subir aucune avarie. L'expérience faite pendant l'hiver de 1879-1880 a montré la valeur de ce système, au point de vue que nous venons d'examiner. Or nous devons insister sur ce point : l'éventualité de glaces et de corps flottants est une certitude pour une période de quelques années ; et, si le fait est rare, iln'en est pas moins redoutable quand il se produit.

Étanchéité. — L'étanchéité laisse peu à désirer. L'ajustage, nécessairement précis, de l'axe et des tambours, permet de ne laisser entre deux hausses voisines qu'un jeu de 10 millimètres, qui pourrait même encore être notablement réduit.

Les pertes sont donc insignifiantes.

Absence de danger et d'effort. — La manœuvre à l'abattage et au relevage est sans aucune espèce de danger. Elle s'exécute de la rive et n'exige aucun effort, aucune aptitude spéciale, il ne faut que de l'attention, la force naturelle créée par chute étant utilisée et dirigée aussi ingénieusement que possible.

En face de ces avantages, sur lesquels nous ne nous arrêtepas pas parce qu'ils sont évidents, se trouvent des inconvé-

nients qu'il faut examiner.

Limite d'application jusqu'à ce jour. - Le premier, c'est la l'imite d'application qui semble, jusqu'ici, en restreindre La partie utile du barrage, c'est la hausse, tandis que la contre-hausse n'est qu'un organe de manœuvre. Or, cet organe, au moins aussi long Que la hausse, est emprisonné dans une cavité que la prudence permet pas d'enfouir trop profondément dans le radier. Si l'on veut que cette cavité se nettoie facilement par ellemême des dépôts qui s'y introduisent, il faut que sa partie inférieure atteigne au maximum la hauteur des seuils naturels de la rivière. Si l'on doit y faire des visites fréquentes, il est bon que l'on dépasse à peine le niveau de l'étiage; en somme, c'est pour une retenue mobile de 1 mètre à 1",20 que l'expérience a été faite, et que les bons résultats signalés plus haut ont été constatés. On est donc obligé de faire des réserves pour ce qui se passerait au delà, tout en reconnaissant que le dernier mot est loin d'avoir été dit. Il n'est pas

inutile de faire observer, en outre, qu'avec de plus grandes dimensions, les difficultés d'exécution augmenteraient notablement, puisque les pressions croîtraient comme le carré des hauteurs

Paresse au relevage. — Comme tous les systèmes qui se manœuvrent par la chute, le type que nous examinons a besoin que la chute soit formée pour triompher des résistances qui s'opposent au relevage. Nous avons signalé ce défant plus haut, et nous n'y revenons que pour indiquer les moyens d'y obvier. Si l'on peut disposer d'une autre passe, on commence par fermer telle partie de cette dernière qu'il convient pour obtenir la chute nécessaire à la manœuvre. Si l'on me dispose pas d'une autre passe, on saisit à la gaffe quelques hausses voisines des culées, et on les relève par une traction exercée à l'aide d'un treuil; le rétrécissement de section qui s'ensuit surélève la retenue et accélère la manœuvre spontanée du reste des engins. L'un et l'autre mode constituent des expédients plutôt que des procédés, mais nons devions les faire connaître.

Défaut d'élasticité pour les variations de niveau de la retenue.

— Comme pour les barrages Chanoine, l'équilibre de la hausse et de la contre-hausse est la base du système. Il suit de là que si l'on vient à faire varier les niveaux d'amont et d'aval, les conditions de manœuvre sont entièrement changées.

Tant que les hausses sont debout nons avons vu qu'on por vait, sans inconvénient, relever la retenue, la stabilité reste suffisante pour que l'on n'ait rien à craindre.

Au contraire, si le barrage est abattu et qu'il s'agisse le relever, sa paresse croît rapidement avec la grandeur de la hausse et peut retarder le rétablissement de la retenue au dell des besoins de la navigation.

Il faut donc, si l'on veut corriger le défaut d'élasticité que nous signalons, arriver à ce que la hausse, lorsqu'elle et debout, soit grande, et devienne petite quand elle es couchée.

On y arrive en plaçant au sommet de chaque hausse, or deux ferrures en porte à faux, une simple planche que le pression de l'eau maintient en place, tant que la hausse et debout. Quand on manœuvre à l'abattage et que la pièce prend me position qui se rapproche de l'horizontale, la lame déversante emporte la planche, et alors la hausse couchée n'a plus que la longueur primitive. Les planches sont ensuite recueillies par un ouvrier monté sur un bateau, et, s'il s'en perd quelques-unes, le dommage est insignifiant. C'est, on le voit, un procédé des plus simples, primitif même, mais on y a recours avec succès depuis une dizaine d'années sur plusieurs barrages de la Marne, pour accroître le mouillage de celle rivière.

Ce procédé exige, il est vrai, que l'on puisse aborder l'une après l'autre les hausses du barrage, pour y placer les planches ou surhausses. Sur certains barrages, l'addition est faite par un ouvrier couvert d'un vêtement imperméable qui circule sur le couronnement du barrage en aval des hausses, et travaille ainsi sans autre gêne qu'une aspersion vis-à-vis chaque joint.

Sur d'autres barrages, on opère par l'amont en nacelle, en s'appuyant simplement sur les hausses debout. La manœuvre devient alors d'une simplicité extrême, et le calcul que nous avons développé plus haut prouve qu'elle est sans danger. Au moment de l'étiage, c'est-à-dire sans lame déversante (on ne pose les surhausses que pendant l'étiage), une nacelle montée par deux hommes n'exerce jamais sur les hausses une pression qui triomphe de la stabilité telle que le calcul la donne; et, du reste, une expérience de dix ans prouve la vérité de cette appréciation. Ajoutons, en terminant, que, par une manœuvre de la barre à coches, il est aisé de limiter la course possible d'une hausse ébranlée et d'empècher son abattage en grand, lorsque les hausses sont munies de béquilles.

Précautions à prendre pour la manœuvre de la barre à coches. — La barre à coches, avons-nous vu, reçoit les béquilles à mi-course, et maintient la hausse dans une inclinaison inlermédiaire entre l'horizontale et la verticale, offrant ainsi aux eaux la moitié du débouché complet.

Si l'on veut passer, au moment de la croissance d'une crue, par exemple, de cette position intermédiaire à un effacement complet de la retenue, on commence par relever le barrage, afin de laisser libre la barre à coches. On manœuvre celle-ci de façon à ce que les coches se trouvent au droit des glissières, et alors seulement on abat en grand. Il faut donc, dans ce cas, passer par le relevage pour arriver à l'abattage.

Or, si dans la position intermédiaire on attend un peu longtemps, si on laisse prendre à la lame déversante une intensité trop accentuée, le relevage ne s'opère plus. Le barrage est alors immobilisé et c'est avec une demi-ouverture qu'il faut subir la crue, ce qui est toujours fâcheux, puisqu'une notable partie du débouché est perdue.

On veillera donc attentivement, lorsque les hausses seront appuyées sur leurs béquilles, et l'on s'assurera de temps en temps qu'elles peuvent toujours se relever. Dès qu'on les verra hésiter, on ne différera pas la manœuvre complète, dpeur qu'un nouveau délai ne la fasse échouer. Les expe riences faites ont été heureusement assez rares pour que les chiffres qui correspondent à cette immobilisation soient dmeurés inconnus.

445. Résumé, en ce qui concerne le barrage Desfo taines. - En résumé, malgré ses imperfections, le barra-Desfontaines est un appareil commode, facile, sûr, et qui re r les plus grands services, si l'on a le soin de ne l'applique qu'à des passes peu profondes. Il convient de se préoccuper. lors de son établissement, d'en rendre le relevage aisé, par la prédominance de la contre-hausse sur la hausse fixe, par des ajustages soignés qui évitent les frottements et les perles, et enfin par une très large ouverture donnée aux aqueducs d'amont pour annihiler les pertes de charge.

Dans ces conditions, on en obtiendra les meilleurs résultats. ct il est à souhaiter que l'emploi s'en généralise, ce qui n'a pas encore eu lieu jusqu'ici. Nous ne doutons pas qu'à de nouveaux essais ne correspondent de nouveaux progrès, avec agrandissement dans l'échelle d'application. Les difficultés vaincues par M. Desfontaines étaient assurément les plus considérables, et la manière dont elles ont été surmontées laisse tout espoir à ceux qui le suivront dans la voie qu'il a tracée.

Parmi les conceptions du même genre, nous devons citer le barrage construit sur l'Yonne à l'Île-Brûlée, près Auxerre. Voir la planche de la page 466.) La retenue est soutenue par sept grandes vannes de 1<sup>m</sup>,97 de hauteur et de 3<sup>m</sup>,52 de largeur, mobiles autour d'une charnière placée à leur arête inférieure. Ces vannes sont manœuvrées chacune par une presse hydraulique dont le piston porte une bielle triple qui s'articule sur lui et sur la vanne, vers le milieu de sa hauteur. Les presses sont actionnées par une usine hydraulique, placée sur la rive, dans laquelle une turbine mise en mouvement par la chute fait manœuvrer deux pompes, à eau et à air, cette dernière comprimant de l'air dans un réservoir en fonte qui sert d'accumulateur de forces. (Voir, pour les détails, les Amales des Ponts et Chaussées, novembre et décembre 1873.)

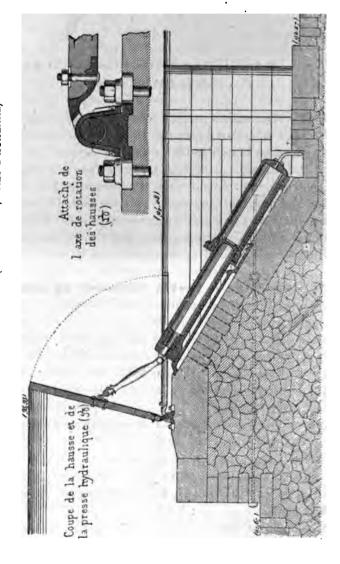
Nous sommes ici en face d'une véritable machine, qui fonctionne avec la précision et la régularité des machines bien construites, mais qui, nécessairement, en a en même temps la délicatesse. Que deviendront ces organes de précision sous l'usure et l'action des gelées? C'est ce qu'une expérience prolongée pourra seule faire connaître, et le barrage de M. Girard

n'est en service que depuis 1873.

Il est à remarquer, d'ailleurs, que nous sortons un peu du programme des barrages mus par la chute elle-même. On utilise la chute, il est vrai, mais la force motrice n'est pas appliquée directement à l'œuvre, elle passe par un intermédiaire, l'accumulateur de forces, lequel suppose toujours un travail préalable de l'engin. On utiliserait aussi bien pour la manœuvre du barrage de l'Île-Brûlée la chute d'eau d'un ruisseau voisin ou une machine à vapeur que la chute de la rivière elle-même, en sorte que l'ordre d'idées dans lequel on se trouve n'est pas tout à fait le même que dans le barrage Desfontaines. Cette réflexion n'est, d'ailleurs, nullement une critique, mais une simple remarque.



# 466 CHAPITRE XVII. BARRAGES A APPAREILS MOBILES



BARRAGE GIRARD, SUR L'YONNE (ILE BRULÉE, PRÈS D'AUXERRE)

# § III

# DE QUELQUES SYSTÈMES PROPOSÉS POUR BARRAGES MOBILES

447. Barrage à sous-pression de M. Carro. — En 1870, M. l'ingénieur Carro avait proposé un barrage dans le genre de celui de la Neuville-au-Pont, avec cette différence que les deux vantaux, au lieu d'être reliés par un simple galet, l'étaient par une charnière; la sous-pression leur donnait la forme d'un toit, et l'absence de sous-pression déterminait leur aplatissement. Une bielle articulée attachée à l'un des versants, et un tablier mobile appuyé sur l'autre, retenaient tout le système au radier. (Brochure publiée à Meaux en 1870.)

148. Barrage à vannes roulantes du même ingénieur. — Le même ingénieur, dont l'esprit inventif avait déjà imaginé la hausse Chanoine, en même temps que l'ingénieur en chef qui lui a donné son nom, a proposé aussi en 1876 de retenir ces hausses par l'amont à l'aide d'un tirant, au lieu de les soutenir par l'aval à l'aide du chevalet et de l'archoutant. Une traction opérée tantôt sur la culasse et tantôt sur la volée déterminerait une action de la pression d'amont, qui changerait de signe au delà d'une inclinaison donnée et achèverait la manœuvre commencée.

En cas d'une crue de quelque importance élevant le niveau des eaux d'amont, une position judicieusement choisie de l'axe de rotation amènerait aussi un changement de signe et abattrait la retenue.

Il est certain que ces dispositions produiraient dans l'établissement des vannes à bascule de très grandes simplifications. La pratique ratifierait-elle cette réduction des organes à leur plus simple expression? Les forces naturelles, auxquelles on fait appel en les faisant agir tantôt positivement et tantôt négativement, obéiraient-elles au signal? Ne détermineraient-

CHAPITRE XVII. BARRAGES A APPAREILS MI elles pas des mouvements dont il serait difficile de devenir maître? C'est ce que l'expérience seule permettrait de connaître. Nous ne pouvons pas le pressentir.

119. Vanues arc-boutées contre des pontons à charnière. — M. l'ingénieur en chef Krantz avait proposé, pour le barrage de Port-Villez, d'immerger dans un canal construit dans le bief d'aval des pontons étanches en tôle, mobile autour d'une charnière fixe et fermant ce canal par-dessu On les aurait fait tourner autour de leur charnière en mettale canal qu'ils recouvrent en communication avec le bief d' le canal qu'us recouvrem en communication rempli au mé unont, ou avec un réservoir préalablement rempli au mé nom, ou avec un reservon promonent fait développe à à niveau; et ce mouvement de rotation aurait fait développe à à l'amont une grande hausse qui, comme dans le barrage d. . . . la Neuville-au-Pont, aurait surélevé le bief devant elle. Artic Lie à hauteur convenable sur les pontons mêmes, et munice de vannes papillon à sa partie supérieure, cette hausse était conque de façon à se prêter aux mouvements de montée et de descente que réclament les circonstances si variées de l'écon-

450. Barrage à hausses indépendantes des contrehausses de M. Cuvinot. — M. l'ingénieur en chef Cmini a proposé aussi un système de barrage dérivé de celui de lement. M. Desfontaines, mais dans lequel la contre-hausse est independante de la hausse, et se borne à actionner cette dernière pendante de la nausse, et se porte à actionne. l'aide de deux bras armés de galets. La course de la contre hausse est plus grande, et chaque élément du barrage est indépendant de ses voisins. Son monvement est réglé par une valve spéciale à chaque élément, que conduit une barre talons. Quand on ouvre cette valve, le barrage se releve demeure debout ; quand on la ferme, il se couche de lui-men parce que la pression s'équilibre sur les deux côtés de la bau (Voir le Cours de navigation intérieure, de M. de Lagrené

451. Barrage à hausse articulée de M. Mar Levy. — Enfin M. l'ingénieur en chef Maurice Lévy (hre autographiée du 28 mai 1873) a imaginé un appareil daus la hausse est articulée au sommet des bras de la contre-l

de Lelle sorte que les deux parties essentielles peuvent être à la fois solidaires et indépendantes.

Deux aqueducs, l'un d'amont et l'autre d'aval, communiquent avec les deux biefs, permettent un jeu de pressions qui actionnent la hausse seule, ou le système de la hausse et de la contre-hausse; il s'ensuit que l'on a deux positions stables du barrage, dans lesquelles la retenue a des hauteurs différentes.

M. Maurice Lévy s'est attaché, du reste, à équilibrer toutes ses pièces, de façon à annuler l'action de la pesanteur des organes, et à faire disparaître cette force perturbatrice des mouvements.

Il a en outre établi en aval de la contre-hausse un système de conduites qui lui permet de répartir le jeu des pressions sur un nombre quelconque d'éléments, par une simple manœuvre de robinets. Grâce à une combinaison des plus ingénieuses Pour les communications hydrauliques, il suffit de 5 conduites Pour actionner un nombre quelconque d'éléments dans un barrage qui en contient 31 en totalité; 6 conduites suffiraient Pour 63 hausses, 7 pour 127, etc., sans que ces conduites soi ent soumises à une pression plus forte que la chute du barrage.

Nous aurions encore beaucoup à dire sur ces conceptions erses, que leurs auteurs se sont efforcés de suivre dans s leurs détails, et il est certain que cette étude ne pourrait que très profitable au point de vue de l'avenir. Elle ferait naître les efforts d'esprits éminents, dans un ordre de herches où il reste beaucoup à apprendre, et hâterait les veaux pas qui ne peuvent manquer de se faire en avant. Is nous avons avant tout à nous occuper de ce qui a été cuté, et nous nous bornerons à ces indications.

52. Hausses pivotantes de M. le conducteur Boi. — Nous devons cependant, en terminant, une mention
ciale à un appareil de M. le conducteur Boidot, appareil qui
cu une application à titre d'essai au barrage de Basseville,
l'Yonne, près de Clamecy.

Chaque élément du harrage est composé d'une fermette analogue à celle du système Poirée, et pouvant comme elle se

Sur le montant d'amont de cette fermette s'articule, par sen coucher dans une enclave du radier. milieu, un large panneau, de la hauteur de la fermette, susceptible, grace à l'articulation, ou de venir dans le plan de la fermette pour se concher avec elle sur le radier, ou de se placer dans un plan vertical normal à celui de la fermette, lorsqu'elle est debout. Dans cette dernière position, elle soutien la retenue; dans la première, elle s'évite au courant et laiss l'écoulement libre. En d'autres termes, la forme affectée = n plan est celle d'un T dont la branche horizontale serait susce lible de se replier le long de la direction de la branche ver Licale, en tournant autour d'une charnière médiane.

La stabilité du panneau ou hausse pivotante, sous la pression de l'eau, est assurée par la butée sur le seuit de l'une des moitiés de ce panneau; l'autre moitié, nécessairement, ne touche pas le seuil puisqu'elle doit passer au-dessus de lui dans son mouvement d'évitement; mais un loquet animé d'un mouvement vertical permet de lui ménager un soutien, une

Pour déterminer le fonctionnement de la hausse pivolante, fois qu'elle a pris sa position. l'une des moitiés de cette hausse est armée d'une vanne de dimensions telles que la vanne fermée donne la préponde rance à la moitié sur laquelle elle est placée, tandis que la vanne ouverte laisse la prépondérance à l'autre moitié. Celle baie joue le rôle de la vanne papillon dans les barrages Chanoine, et c'est avec elle que l'on détermine le pivotement de hausse, soit pour barrer la rivière, soit pour effacer la retenn On trouve dans cet appareil la fermette de M. Poirée n

à un engin analogue à la hausse de M. Chanoine. Une fu est intervenue et s'est complétée par la possibilité d'une nœuvre qui emprunte sa force à la rivière elle-même, au m de l'ouverture ou de la fermeture d'une ventelle. Il y a une idée éclectique qui mérite d'être signalée.

Les hausses pivotantes établies à Basseville ont 2 de largeur sur 1",70 de hauteur, et fonctionnent hie près les renseignements qui nous ont été fournis, lo a soin de ne pas les manœuvrer de façon à créer des courants latéraux opposés au pivotement. Nous ignorons ce qui se passerait si, avec une grande hauteur de retenue, le panneau devait prendre un très grand développement. Peut-être alors, pour être suffisamment résistantes, les pièces devraient-elles acquérir un poids qui en diminuerait la mobilité. Ce n'est toutefois qu'une appréhension, et l'expérience seule pourrait fixer à ce sujet.

Dans la pensée de M. Boidot, les panneaux seraient d'autant plus larges que la retenue serait plus haute, car il ne veut pas, et avec raison, que ses éléments repliés et couchés sur le radier se superposent. Il faut, pour y arriver, que chaque hausse ait une largeur au moins égale à l'espacement de deux fermettes, et que cet espacement ne soit pas moindre que la hauteur des fermettes. Avec cette disposition, la fermette, la hausse et la passerelle peuvent se replier et se coucher ensemble au fond de la rivière, sans être exposées à un désordre qui ne manquerait pas de se produire si des organes aussi complexes pouvaient, en se superposant, s'enchevêtrer.

Nous ne nous arrêterons pas plus longtemps à cette nomenclature d'essais plus ou moins heureux jusqu'ici, et lorsque nous aurons complété les renseignements que nous avons fournis sur les divers systèmes de barrage, par une évaluation approchée de leur prix, il nous sera possible de conclure par des indications sur la préférence à accorder à tel ou tel système, suivant les conditions dans lesquelles on se trouve placé, lorsqu'il s'agit d'établir une retenue d'eau.



.

•

## CHAPITRE XVIII

# UTILISATION DES DIVERS SYSTÈMES DE BARRAGES MOBILES

A L'ÉTABLISSEMENT D'UNE RETENUE D'EAU

## SOMMAIRE :

- § 1. Prix de revient des divers systèmes de barrage : 453, Notions approxima-

lives.

2. Passage des bateaux aux barrages: 454. Passe navigable ou pertuis.

3. Ecoulement des crues: 455. Déversoir.

4. Choix du système de fermeture à adopter: 456. Déversoir fixe. — 457. Déversoir du système Desfontaines. — 458. Fermeture des passes profondes. — 459. Fermeture des passes moyennes. — 460. Résumé sur les choix à faire en ce qui concerne les engins mobiles.

5. Ouvrages à consulter sur la question des barrages mobiles: 461. Annales des Ponts et Chaussées. — 462. Ouvrages divers.

# S Ier

# PRIX DE REVIENT DES DIVERS SYSTÈMES DE BARRAGE

453. Notions approximatives. - Le prix de revient des systèmes de barrage ne peut se comparer que de très loin. D'abord la valeur des matériaux diffère essentiellement avec les pays; en second lieu, la question des fondations intervient souvent dans une proportion qui bouleverse les comparaisons; enfin, entre les engins mobiles et leurs attaches fixes, il y a une solidarité qui permet difficilement de faire la part de l'un

et de l'autre. Les chiffres que nous allons rapporter n'ont donc d'autre but que de donner une idée du prix de revient, et il ne faut pas y attacher plus d'importance qu'il ne convient.

Sur la Saône, les passes profondes du système Chanoine complété par des fermettes ont coûté, par mètre courant, 4,000 fr.

Les passes hautes, du système Poirée, 1.800 fr.

La chute moyenne des barrages est d'environ 2<sup>m</sup>,30.

Sur la Meuse ardennaise, on ne trouve que des passes de profondeur moyenne avec 1<sup>m</sup>,80 de chute. Le prix moyen a été d'environ 1.600 fr.

 Sur la Meuse belge, avec une chute de 2<sup>n</sup>,50, les passes profondes du système Poirée, aussi bien que les passes hautes du système Chanoine avec passerelles, ont coûté 2.500 fr.

Sur la Marne, les passes profondes sont du système Chanoine, complété par des fermettes sur passerelles; elles ont coûté 4,000 fr.

Les passes hautes du système Desfontaines ont valu 2.500 fr. La chute des barrages de la Marne est d'environ 2 mètres; mais les passes hautes ne rachètent que 1 mètre de différence de niveau.

Sur la haute Seine, les passes profondes du système Chanoine, sans fermettes, ont coûté 3.000 fr.

Les passes hautes du même système avaient coûté 1.450 fr. La chute moyenne est de 1<sup>m</sup>,80. Il est à noter d'ailleurs que les passes hautes ont dû recevoir, depuis, des passerelles sur fermettes.

Les dépenses des barrages à forte chute de la Seine au-dessous de Paris ne nous sont pas bien connues; la passe profonde de celui de Martot a coûté 4.000 fr.

Quant au système Girard, il n'y en a en qu'une seule application, dans laquelle les ouvrages mobiles ont valu 2.000 fr. par mètre courant. La partie fixe ne différerait pas beaucoup du prix des autres barrages.

D'après les renseignements qui nous sont fournis, le barrage de Poses devrait coûter un prix total de 12.500 fr. par mètre courant, dont 6.500 fr. pour la partie sixe et 6.000 fr. pour la partie mobile.

Les fondations jouent d'ailleurs un très grand rôle dans le prix total.

Quant au barrage de la Mulatière, le prix total serait de 9.800 fr. dont 1.500 pour la partie mobile, d'après une note publiée par M. l'ingénieur en chef Pasqueau.

Après avoir examiné les divers systèmes de barrages mobiles, après avoir reconnu leurs avantages et leurs inconvénients, et s'être fait une idée de leur prix, on se demande naturellement quel choix il y a lieu de faire pour l'établissement de cette œuvre complexe que l'on appelle une retenue d'eau, et qui est destinée à augmenter très notablement le mouillage des rivières navigables.

Conditions principales que doit remplir une retenue d'eau.—
Observons d'abord que toute retenue d'eau implique deux conditions principales, en dehors du relèvement de niveau, et qui sont :

- 1º De permettre aux bateaux de franchir la chute artificiellement créée;
- 2º De laisser à l'écoulement des eaux, en temps de crue, un passage suffisant, dans des conditions sûres et faciles.

Étudions successivement ces deux nécessités.

## § II

## PASSAGE DES BATEAUX AUX BARRAGES

Aujourd'hui le passage des bateaux aux barrages s'effectue presque toujours par une écluse à sas ; c'est un moyen commode, sûr, qui maintient les bateaux dans une eau tranquille et n'exige que des efforts limités; nous nous en occuperons dans un chapitre spécial.

454. Passe navigable ou pertuis. — Toutefois, il est des moments où la rivière ayant assez d'eau pour fournir aux bateaux un mouillage suffisant, on peut souhaiter de voir le

le. · · ·

cours naturel des choses se rétablir, et la navigation s'effectuer librement.

Son utilité pour la navigation. — On y arrive en plaçant dans le barrage une passe profonde, appelée pertuis ou passe navigable, laquelle reste ouverte tant que la rivière est en crue d'une manière suffisante pour offrir par elle-même le mouillage voulu. L'utilité des pertuis, à ce point de vue, a été plus grande dans le passé qu'elle ne le sera dans l'avenir.

En effet tant qu'on s'est contenté d'un mouillage de 1<sup>m</sup>,20, 1<sup>m</sup>,60 même, il y avait de longues périodes d'eaux ordinaires, dans lesquelles la navigation était assez aisée pour qu'on cherchât à l'affranchir du passage des écluses. Au contraire, avec des mouillages de 2 mètres, 2<sup>m</sup>, 20, 2<sup>m</sup>,50, 3 mètres et même 3<sup>m</sup>,20 sur la Seine, les périodes d'eaux libres sont infiniment plus rares et courtes. En outre, il est fort difficile d'en profiter, parce qu'alors le régime de la rivière est changé, et le courant devenu tel, dans les pertuis surtout, que la navigation est à peu près impossible. Il suit de là qu'à mesure que les bateaux deviennent plus forts, c'est-à-dire moins maniables, les pertuis deviennent plus inutiles au point de vue du trafic.

Utilité du pertuis pour le rétablissement de l'étiage naturel. — Il est toutefois un autre point de vue qui en réclame le maintien. Quand on a troublé violemment le régime d'une rivière, comme on le fait aujourd'hui avec les barrages à forte chute, il est nécessaire que l'on puisse revenir, temporairement au moins, à ce régime. Les ouvrages d'art situés dans le remous du barrage, le barrage lui-même ont besoin de réparations, pour lesquelles il serait fâcheux de ne pas être à même de faire retour à l'étiage, lorsque les circonstances l'exigent.

La passe profonde répond à ce besoin. On place son seuil dans le thalweg, autant que possible, et au niveau des hauts-fonds voisins, de manière qu'il n'apporte pas au passage une gêne plus grande que ne le fait le lit lui-même. Pour largeur, on adopte une ouverture telle qu'en étiage il n'y ait pas de remous sensible; et on modifie cette dimension en plus, suivant les besoins de la navigation, si ces besoins combinés avec les circonstances naturelles de l'éconlement font penser que le pertuis doive être utilisé au passage des

bateaux. On a ainsi satisfait à la première des conditions que nous avons indiquées plus haut.

## § III

# ÉCOULEMENT DES EAUX

455. Déversoir. — Pour que les crues puissent s'écouler, il faut que la rivière recouvre un débouché suffisant au moment des eaux abondantes, et surtout à l'époque des inondations. La dimension du pertuis étant déterminée par les considérations qui viennent d'être développées, il convient d'abord Quele reste de la rivière ne soit obstrué, par la partie fixe de la Construction, que dans une mesure non susceptible de nuire. L'usage en pareil cas est de constituer, en dehors du pertuis passe profonde, le reste du barrage en passe moins Profonde qu'on appelle passe déversoir, ou déversoir. On a de la sorte, dans un barrage, deux parties distinctes qui répondent à des besoins distincts.

Distinction trop absolue entre les pertuis et les déversoirs. —

Le ut-être cette répartition est-elle trop absolue. Le lit d'une

ri vière n'est pas scindé en deux parties, l'une basse et l'autre

he ute, il passe au contraire par toutes les gradations, du thal
g à la rive; et il est évident, a priori, que le mieux pour

barrage mobile serait de restituer en temps de crue, au

cours d'eau, sa section naturelle. Ajoutons de suite que, pra
ti quement, une solution de ce genre serait inacceptable, parce

que l'uniformité est pour l'exécution et l'entretien des en
gins, ainsi que leur bon fonctionnement, une garantie trop

Précieuse pour ètre négligée.

Cependant il ne faut pas aller trop loin dans cette voie d'uniformité. Il arrive sur beaucoup de points, aujourd'hui, que les eaux des crues, surélevées par les parties fixes des ouvrages, prennent à de certains moments dans les pertuis des vitesses énormes qui rendent les manœuvres difficiles et dangereuses; on ne peut alors régler les retenues avec la pré-



478 CHAPITRE XVIII, UTILISATION DES DIVERS SYSTÈMES

cision qu'on serait heureux d'y apporter, et il y a sous capport quelque chose à faire, en dehors de ce qui se pratiquale habituellement.

est commandée pour répondre à certains besoins exceptionnels et impérieux, une passe haute est très utile pour liver passage aux petites crues, aux corps flottants et aux glaces. C'est dans cet ordre d'idées que M. Poirée avait placé part un déversoir fixe à côté de ses barrages mobiles. Il serait avantageux de revenir à cette pratique, sinon par un déversoir fixe, là où la section du cours d'eau ne le permet pas au moins par une passe haute très maniable demeurant toujons prête aux événements.

Passes moyennes. — Entre la passe haute et la passe pofonde, il serait rationnel ensuite d'établir une ou plusie passes, épousant le mieux possible le fond de la rivière et pormettant, sans trop grande variété d'engins, de rétablir à peu près la section naturelle. Cette obligation serait d'autant mos impérieuse d'ailleurs que le régime du cours d'eau serait pus tranquille, plus uniforme, et il y a là une question d'apper ciation dans chaque cas particulier.

## § IV

R.

## CHOIX DU SYSTÈME DE FERMETURE A ADOPTI-

456. Déversoir fixe. — Cette division une fois étable examinons le choix qui peut être fait, entre les divers engle de fermeture à appliquer à ces passes.

Pour les passes hautes, là où les lieux s'y prêtent, le deversoir fixe est une très bonne solution; elle est applicable quand le barrage doit être établi dans une section très lar de la rivière, ou au milieu d'ilots dont les bras secondair peuvent, au moment des crues, offrir un grand développment de nappe déversante pour aider au débit de l'ouvrage

457. Déversoir du système Desfontaines. — A défaut de déversoir fixe, le système de hausses à tambours de M. Desfontaines est un type précieux pour les passes hautes. Il est d'une manœuvre facile et sûre pour l'écoulement des crues ordinaires; il se laisse traverser par les glaces et les corps flottants, n'offre aucun danger et se règle de la rive par un seul homme. Il est donc tout à fait ce qui convient pour les manœuvres journalières et imprévues, d'une importance secondaire, et l'établissement d'un déversoir Desfontaines parmi les ouvrages régulateurs d'une retenue est certainement une des plus grandes garanties qu'on puisse se procurer. On y trouve à la fois un engin commode et un moyen de se donner, au début des crues, le temps nécessaire pour réunir les ouvriers qui seront employés plus tard à un manœuvrage complet.

458. Fermeture des passes profondes. — Pour les passes profondes, du moment où l'on est protégé par un déversoir contre les éventualités subites (toujours d'importance secondaire, comme nous l'avons déjà fait remarquer), il n'est plus nécessaire d'opérer sur l'heure et très rapidement. En lemps de crue, on reçoit les avertissements télégraphiques relatifs à la marche des eaux, en temps de décrue l'abaissement de niveau est assez lent et assez régulier sur les rivières navigables pour que l'on apprécie le temps dont on peut disposer. En somme, ce qu'il faut, ce sont des organes solides que l'on soit certain de pouvoir toujours manœuvrer, et qui aient une stabilité assurée, parce que dans les parties profondes les mouvements spontanés sont plus dangereux qu'ailleurs.

Là, tout en admettant les autres systèmes, nous avouons une certaine préférence pour celui qui comporte un pont supérieur auquel presque tous les organes sont suspendus, de façon à réduire autant que possible le nombre des pièces noyées. Les fermettes sont assurément aussi une bonne solution, l'expérience l'a prouvé, à la condition qu'elles procurent une passerelle haute et commode le long de laquelle le rideau d'étanchement puisse varier de hauteur et de position sans qu'on soit obligé de retoucher le radier. Quant aux vannes

# 480 CHAPITRE XVIII. UTILISATION DES DIVERS SYSTÈMES

Chanoine, qui ont aussi fait leurs preuves, si on les adopte, en placera leur axe très haut, tout près du milieu, et on les manœuvrera du haut d'une passerelle armée d'engins assez puissants pour permettre de maîtriser les forces considérables que l'on met en jeu. En un mot, quel que soit le type choisi, on s'attachera à obtenir une manœuvre sûre, dût-elle être un peu lente

459. Fermeture des passes moyennes. — En ce qui concerne les passes moyennes, du moment où une passe haute existe sur une largeur suffisante, on est plus libre dans son choix, et on a intérêt à se rapprocher des engins dont la manœuvre est la plus assuréc, parce qu'en fin de compte la première condition à remplir, c'est d'être maître du régime des caux. Si la disposition des lieux ne permet pas l'établissement d'une passe haute, il convient que les passes moyennes fonctionnent comme déversoirs, et aient par suite la sensibilité et la régularité désirables. Il faut surtout que leur fermeture puisse s'effacer sûrement et rapidement, en cas de besoin, car l'éventualité d'une surprise, pour être de moins en moins probable, demeure possible. Pour remplir ce programme, les vannes Chanoine semblent très convenables; on leur donne plus de sensibilité que tout à l'heure; on leur permet de basculer ou de s'effacer suivant les cas, car il devient indispensable de pouvoir faire l'un et l'autre à volonté.

Il est vrai que, derrière les vannes Chanoine, on est conduit à placer des fermettes pour supporter la passerelle de manœuvre, mais il convient d'observer que ces fermettes sont plus légères et plus espacées que les fermettes d'appui; elles demeurent toujours ou presque toujours dégagées d'aiguilles, ce qui permet de les replier très vite, et d'éviter la principale perte de temps. On peut se demander, d'ailleurs, si ce moyen de se procurer une passerelle est vraiment le meilleur. Ce qui s'exécute d'une passerelle sur fermettes s'exécuterait aussi bien d'une passerelle fixe ou mobile à grande portée, placée sur piles fixes. Aujourd'hui les rivières navigables présentent assez de ponts pour que l'on n'ait pas à se préoccuper de quelques piles en rivière de plus, pourvu qu'elles soient con-

s me

DEE

9 to

tio

§ IV. CHOIX DU SYSTEME DE FERMETURE 481 venablement espacées. Partout, en outre, où il existe des passes profondes, les passes moyennes n'ont aucune navigation à desservir, et il n'y a pas nécessité d'y maintenir une lame déversante unique, de toute la largeur du cours d'eau. Rien n'empêcherait donc de placer une passerelle fixe sur les passes moyennes, un peu au-dessus du niveau des plus hautes eaux, partout où ces plus hautes eaux ne dépassent pas beaucoup la retenue normale. Or, plus on augmentera les mouillages, moins ces deux niveaux différeront; plus, par suite, cette solution deviendra naturelle. Elle permettra, sans encombrer les passes, de corriger les défauts d'un excès d'automobilité, et de conserver la sensibilité et l'estacement rapide du système Chanoine primitif, c'est-à-dire les incontestables avantages de ce type de barrage.

C'est ainsi que, dans les diverses parties constitutives d'une retenue d'eau, les choix faits pour les engins mobiles réagissent les uns sur les autres. Les diverses passes se prêtent d'ailleurs constamment dans la pratique une aide mutuelle; c'est en fermant un peu les passes profondes ou moyennes qu'on se procure la chute nécessaire à relever les hausses Desfontaines au déclin des crues, c'est par une manœuvre PPortune du déversoir qu'on modifie parfois temporairement les courants qui génent la manœuvre des pertuis; quelques basculements de vannes effectués cà et là en temps utile, corrizent parfois les bizarreries qui accompagnent toujours la formation de courants latéraux. En un mot, il ne faut pas en vi sager une retenue d'eau comme formée d'ouvertures indé-Pendantes, mais s'attacher à corriger, avec l'aide de l'une, ce qui peut manquer à l'autre, de façon à en faire un tout dont on soit maître.

Du reste, en pareille matière, il est indispensable d'être celectique et de prendre partont ce que l'on trouve de bon. Chaque système a ses partisans; en somme, avec de bons asents, de la prudence et de la persévérance, on se sert bien de tons les types, une fois que le personnel y est habitué. L'habitude, d'ailleurs, est encore une des forces avec lesquelles il fant compter en semblable matière; elle sauve bien des accidents, bien des mécomptes, et il ne faut rompre avec elle

482 CHAPITRE XVIII. UTILISATION DES DIVERS SYSTÈMES

qu'avec la plus grande prudence, c'est-à-dire avec la pluextrême lenteur.

460. Résumé sur les choix à faire en ce qui cocerne les engins mobiles. — La matière n'est pas encoassez mûre pour permettre l'énonciation de règles plus précises. Disons, en terminant, que ce qui se dégage nettement pour nous de cette discussion peut se résumer comme il suit:

Dans une retenue d'eau, surtout quand elle est haute, il faut demander aux passes profondes de la fixité, une élasticité qui leur permette de supporter sans changement quelques variations de régime du cours d'eau. Les engins doivent être tels que la manœuvre soit sûre, sans mécomptes quoiqu'il arrive, dût-elle être un peu lente.

Aux passes hautes, on doit demander une disparition facile et assurée, une gradation d'ouverture appropriée aux besoins essentiellement variables de l'écoulement sous un niveau fixe, et une ouverture suffisante pour donner le temps nécessaire à préparer les manœuvres des passes profondes.

Aux passes moyennes, s'il y en a, ce sont les qualités intermédiaires qui doivent dominer. Si les passes hautes n'existen pas, il faut que les passes moyennes présentent le plus possible leurs avantages; si ce sont au contraire les pertuis qui manquent ou qui sont insuffisants, il convient de se rapprocher de leur type.

Dans tous les cas, les choix doivent être faits dans une vue d'ensemble, et il y a toujours lieu de corriger les inconvé nients du système adopté pour une passe, par les avantage des types appliqués aux autres passes.

# SV

# OUVRAGES A CONSULTER

# 461, Annales des ponts et chaussées.

# 1º Mémoires de M. Chanoine:

1839, 1er semestre. Barrage d'Epineau;

1843, 1er semestre. Échappements;

1851, 2e semestre. Barrage automobile;

1852, 2º semestre. Hansses mobiles et automobiles ;

1855, 2º semestre. Note sur la prise de la Seine.

2º Mémoires de MM. Chanoine et de Lagrené:

1861, 2º semestre. Barrages à hausses mobiles ;

1868, 2º semestre. Construction de barrages éclusés.

# 3º Mémoire de M. de Lagrené:

1866, 1er semestre. Étude comparative sur les divers systèmes de barrages mobiles.

## 4º Mémoires de M. Boulé:

1873, 2º semestre. Barrage de Port-à-l'Anglais ;

1876, 1er semestre. Barrages à forte chute.

# 5º Mémoires de M. Cambuzat :

1867, 1er semestre. Barrages mobiles;

1873, 1°r semestre. Navigation de l'Yonne et de la Seine.

## 6º Mémoire de M. Remise :

1873, 2º semestre. Barrage du système Girard.

## 7º Mémoire de M. Malézieux:

1868, 2º semestre. Barrage de Joinville.



484 CHAPITRE XVIII. UTILISATION DES DIVERS SYSTÈMES

## 462. Ouvrages divers.

1° Cours de navigation de M. de Lagrené.

2° Mémoire de M. Hans sur la navigation de la Meuse helge. Imprimerie Félix Callewaert père, 26, rue de l'Industrie (Bruxelles).



# ANNEXES



## SOMMAIRE:

# A. LES RIVIÈRES A FOND DE SABLE PAR M.-C. LECHALAS.

# B. LES RIVIÈRES DE LA LOMBARDIE PAR BAUMGARTEN.

# ANNEXES

# A. – Les rivières à fond de sable '

Par M. - C. LECHALAS

#### SOMMAIRE :

Mise en équations du problème simplifié. — II. Théorie du mouvement des sables. Rivière régularisée. — III. Les vitesses-limites. — IV. Premier problème. — V. Second problème. — VI. Complications. — VII. La Loire après la fixation des herges de l'Allier, etc.; la nouvelle pente; la largeur du lit mineur. — VIII. La Loire actuelle; tracé du lit mineur; largeurs graduées. IX. Formules des débits de sable. — X. Résumé, Conclusion,

## Mise en équations du problème simplifié.

Considérons d'abord une rivière de largeur fixe, à débit constant, à fond de sable uniforme et indéfini, sans apports solides nouveaux. Les eaux entraîneront le sable jusqu'à ce que la vitesse de fond W soit égale à une certaine valeur-limite qu'on peut déterminer par l'observation. Le débit D et la largeur L étant connus, la profondeur moyenne H, la pente I et la vitesse movenne U seront données par les trois équations ":

$$\frac{\text{HI}}{\text{U}^*} = 0,00028 + \frac{0,00035}{\text{H}}.$$
 (1)

$$W=U-10.\sqrt{H. I.}$$
 (3)

\* Ce mémoire, publié d'abord dans les Annales des Ponts et Chaussées de

1871, a été revu par l'auteur.

"L'équation (1) est la formule principale de Darcy et Bazin; (2) n'est que la traduction de la définition de la vitesse moyenne; (3) résulte de la combinaison des équations :

$$V = U + 14\sqrt{HI}$$
 et  $V = W + 24\sqrt{HI}$   
(Darroy et Davis)



## RIVIÈRES A FOND DE SABLE

488

L'hypothèse d'un fond homogène indéfini, composé de matières transportables par des vitesses de fond dont la limite inférieure W est supposée connue, a pour conséquence le remaniement du lit (à moins que la pente initiale ne soit inférieure à celle qu'on déduirait des équations) jusqu'à ce que H, I et U satisfassent à (1), (2) et (3). Le problème est déterminé, puisqu'il y a aulant d'équations que d'inconnues.

## II. - Théorie du mouvement des sables.

Nous savons qu'il existe deux modes de transport du sable par les courants: le roulement sur le fond et la suspension au sein des eaux. Dans le premier cas, on admet que le phénomène ne dépend que de la vitesse W; dans le second, Dupuit fait intervenir la vitesse relative des filets.

D'après sa théorie, la vitesse plus grande du filet supérieur détermine une sorte de succion, qui soulève le grain de sable; celui-ci se rapproche en même temps du centre du courant, par suite de la vitesse moindre des filets plus voisins de la rive. Le poids du sable serait annulé, partie par la sous-pression correspondant à l'état statique, partie par la différence supplémentaire que l'état de mouvement introduirait dans les valeurs des pressions inférieure et supérieure. Tout cela suppose que la masse liquide se compose de filets superposés et juxtaposés, ce qui n'a guère de rapport avec ce qui se passe dans les courants animés de grandes vitesses.

Pour trouver l'explication du phénomène, il faut d'abord se débarrasser de la notion des filets parallèles, inconciliable avec les déplacements continuels de chaque molécule liquide par rapport à toutes les molécules voisines. Le transport des corps solides par les fluides en mouvement obéit aux mêmes lois, que le fluide soit liquide ou gazeux; le courant d'air, comme le courant d'eau, roule les grains de sable sur le sol ou les suspend dans sa masse. Lorsqu'une molécule d'eau vient frapper le fond, elle met en mouvement le grain de sable rencontré; celui-ci part dans une direction qui dépend de celle du choc et de la position des molécules solides et liquides avoisinantes. Il y a projection au dessus du fond ou roulement sur celui-ci, suivant l'inclinaison et la valeur de la puissance, et suivant les conditions dans lesquelles s'exercent les résistances. La suspension correspond surtout aux chocs des molécules liquides

animées de grandes vitesses, chocs d'autant plus répétés qu'ils sont plus forts; au-dessous d'une certaine limite, les transports par suspension n'ont plus lieu, pour chaque densité et chaque grosseur de sable. Pendant les basses eaux, le transport n'a lieu que par places; mais aux courants des crues correspondent des transports plus généraux et des chocs suspenseurs; les grains marchent entre deux eaux, reviennent au sol, sont repris, en décrivant des trajectoires analogues à celles des molécules d'eau, mais plus brèves, avec retours plus fréquents et stations sur le fond. Les gros grains sont soulevés moins haut que les petits, ou ne font que rouler sur le fond, si même ils ne restent immobiles. Les sables menus offrent plus de prise comparativement à leurs poids; arrivés à une certaine ténuité, ils sont emportés dans toute la masse liquide comme la poussière dans l'air. Dans les lits irréguliers il se forme des tourbillons verticaux, analogues à ceux que nous voyons souvent se produire dans l'air, aux points où des courants très vifs longent des eaux mortes; il y a également des tourbillons horizontaux, résultant de l'inégalité des vitesses aux diverses profondeurs et des irrégularités du fond. Les vitesses varient beaucoup plus rapidement sur la verticale, dans les grandes rivières, que dans le sens horizontal; on passe par exemple de 2 mètres à 1 mètre de vitesse sur quelques mètres de profondeur, tandis qu'il faut 100 mètres et plus dans l'autre sens pour passer de 2 mètres à 0m,50.

D'après les expériences de Dubuat, l'excès de pression, sur la face amont d'un corps plongé dans un courant, est proportionnel au quarré de la vitesse; on peut donc le représenter par a. W<sup>\*</sup> \*. La force résistante = a.  $0.25^{\circ}$  pour le sable de la Loire, puisqu'il reste immobile lorsque la vitesse de fond est inférieure à 0.25. La différence est égale au produit de la masse des grains par leur vitesse, projetée sur le même axe que W, c'est-à-dire sur l'axe de la rivière; ce produit étant proportionnel au débit de sable, d, peut être représenté par l'expression b. d. On aura donc :

$$d = \frac{a}{b} (W^* - \overline{0,25}^*) = m (W^* - 0.06).$$

a varie avec les dimensions, les formes et les positions des grains de sable. La constance de ce coefficient suppose l'égalité des grains et l'équivalence des positions.— Ce que nous disons ci-dessus serait inapplicable au cas d'une surface de sable à grains enchevêtrés, par suite de l'action prolongée de courants ayant la force de remuer ces grains sur place, mais non de les entraîner.



490



## RIVIÈRES A FOND DE SABLE

La valeur de m sera demandée à l'observation, ce qui currigue jusqu'à un certain point l'introduction de W dans l'équation, sans retranchement de la vitesse des grains, etc. Il n'y a plus à soustraire 0,06. m lorsque les sables, soulevés, cessent de frotter sur le fond; en conséquence, la formule devient d = m. W pour les vitesses supérieures à une certaine limite. (Il est facile de voir, toutefois, qu'ici encore m n'est qu'approximativement une constante.)

Dans les rivières désordonnées on remarque de grands aux de sable, en forte saillie sur le lit à l'extrémité d'aval. Ces dépôts ont du moins l'avantage de favoriser les observations. Les grains roulés à la surface tombent sur le talus terminal, lorsqu'ils en ont dépassé la crète; il en résulte un avancement mesurable de la grève, et par suite la connaissance du volume de sable débité dans chaque mêtre de largeur, pour la vitesse de courant correspondante. L'avancement de la crète devient tout à coup plus lent, lorsque W dépasse la limite supérieure des transports par roulement; c'est qu'alors les sables sont transportés en suspension, et qu'une partie seulement tombe à l'origine de l'approfondissement brusque. La coexistence des mouvements de première et de seconde espèces, rouleme t et suspension, doit avoir lieu pour certaines vitesses intermédiaires; mais l'observation prouve que celles-ci n'occupent qu'un espace très petit sur l'échelle. En effet, l'avancement des grèves suit une loi qui est encore satisfaite pour la vitesse superficielle 1.016, et cette loi ne peut devenir que graduellement inapplicable pendant la période mixte; or elle ne convient plus du tout pour V = 1,03. Cela indique une difference bien minime, si mème elle est appréciable, entre la limite supérieure des W, et la limite inférieure des W.

Considerons le système matériel composé des masses d'eau et de sable accumulées, à un moment donné, sur les 75 kilo-lomètres de fleuve compris entre la Maine et la partie maritime de la Loire. Les vitesses et les sections peuvent être considérées comme égales dans les profils extrêmes, en sorte qu'au boul d'une seconde la force vive du système n'a pas changé; la somme des travaux de toutes les forces est donc nulle. Le produit du poids d'eau débité par la chute (12 mètres) doit être égal au travail négatif des frottements de toute espèce. Le travail des forces intérieures ne s'annule pas lui-même; carles

Nous représenterons à l'avenir par d le débit de sable par mètre de geur de rivière.

somme des travaux des forces égales et contraires qui se développent entre deux molécules n'est pas égale à zéro, puisque la distance de ces molécules varie dans l'élément de temps. L'expression du travail moteur est : 1000. D. 12.

Rivière régularisée. — L'équation (1), donnée par des observations faites en grande partie sur des canaux réguliers, sera à peu près applicable dans ce cas. Écrivons-la sous la forme :

$$\frac{1.000. \text{ D. } 12}{\text{L. U. } 75.000} = 1,000 \text{ U}^*. \left(0,00028 + \frac{0.00035}{\text{H}}\right)$$

On en tirera:

**1.000.** D. 12 = 1.000 × 75.000 × L. U'. 
$$\left(0,00028 + \frac{0,00035}{H}\right)$$
. U.

Le second membre représente l'ensemble des travaux résistants: mais nous ne sommes pas en mesure de faire la part du frottement du sable sur le sable, de l'eau sur le sable, de l'eau Sur elle-même. L'endiguement diminuera d'abord, plutôt qu'il ne l'augmentera, le volume d'eau emmagasiné dans nos 75 kilomètres, en même temps qu'il facilitera la translation de chaque Inètre cube; il aura pour effet l'amoindrissement du travail absorbé par les actions moléculaires dans la masse liquide, et comme il n'y aura pas d'accroissement de force vive de l'origine à l'extrémité, on peut en conclure que les éléments de résislance où le sable intervient s'accroitront. Cela correspondra a un plus grand transport solide vers l'aval. Au commencement de la phase de transition qui suivra la régularisation de la section de fleuve considérée, si l'on a fait les dragages nécessaires pour établir le thalweg suivant un trace en rapport avec celui des discues mineures (afin notamment de prévenir des débordements anticipés), ce plus grand transport amoindrira graduellement a masse emmagasinée, malgré le ralentissement qui résultera le son effet même. La pente superficielle diminuera; et comme Dres l'équation (2) H et U ne peuvent varier dans un profil In sens inverse l'un de l'autre , pour chaque valeur de 1'équation (1) montre que les vitesses d'abord obtenues s'af-

Il s'agit d'une comparaison entre l'état initial, après l'endiguement, et un ultérieur. Par consèquent L est le même dans les deux cas considérés, les différences pouvant provenir de l'émergence de certaines surfaces entre les nouvelles rives du lit mineur, au moment de l'étiage.

faibliront graduellement, en même temps que les profondeus s'accroitront.

Cette conclusion se concilie avec le retour graduel à l'ande débit de sable; mais une grande diminution de l'étant indissible dans un bief de 75 kilomètres, il faudra construire de harrages. Il est facile de voir que, seuls, ces barrages ne conduiraient pas au but.

Le travail disponible dans la longueur de chaque bief derini de plus en plus peus a me que la chute au barrage d'anni s'accroit, par suite de la di sution de la pente en route; mis les résistances "diminuent avec la vitesse, en même temps que la hauteur de chute. En sup sant que l'altitude reste la mai en amont de la Maine, la concordance dynamique avec l'anim état de choses doit cependant exister dans l'ensemble; elle et rétablie, en positif et en n if, par les chutes des barrages.

## III. - Les vitesses-limites.

Il résulte d'observations faites sur la Loire que la limite inférieure des vitesses de fond, pour le transport par roulement du sable des grèves, est égale à 0,25. D'après M. Sainjon, « tant que la vitesse du courant ne dépasse pas 1 = ,016 à la surface, le déplacement des grèves augmente assez régulièrement avec la vitesse du courant. La formule

$$D\acute{e}p^{nt} = 0.00013 \times (V^* - 0.11)$$

Des barrages mobiles pourraient y conduire dans une rivière à fables débits de sable; mais non dans la Loire, avec les grands apports solides le l'Allier et de la partie supérieure du fleuve. Les grands désordres produis pendant les crues n'auraient pas encore disparu au moment où il faudait relever les appareils mobiles; le règime actuel serait empiré. En outre, les bies n'auraient pas de grandes longueurs.

\*\* Elles sont proportionnelles à L. U°.  $\left(a+rac{b}{H}
ight)$ , comme on le voit par l'équi-

tion ci-dessus. La diminution de U et l'augmentation de H concourent su même résultat, à mesure que la transformation s'opère. Il faut bien distinguer ce phénomène de ce qui se passe au moment de la régularisation, et l'accroissement simultané de U et de H concorde avec la diminution de L. Ca accroissement ne serait pas en contradiction avec le maintien initial de la pente moyenne, alors même que la formule (1) serait applicable à l'état actuel du fleuve. Plus tard, L restant ce qu'on l'a fait, on aura diminution duelle de U et augmentation de H, par suite de l'épuisement des sable transport de ccux-ci s'amoindrira en même temps que la chute par mète

rend bien compte de ce qui se passe. Mais pour des vitesses supérieures les conditions du transport des grains sont changées; le sable des grèves est entraîné en suspension, au milieu des filets liquides plus ou moins voisins du fond de la rivière. >

Tableau des observations.

VITESSE PAR SECONDE observées à la surface.	HAUTEUKS DES GRÈVES au-dessus du fond d'aval.	DÉPLACEMENT par seconde		
		observé.	calculé. (2)	OBSERVATIONS.
0.58 0.64 0.73 0.75 0.81 0.83 1.00 1.016 1.03(3) 1.05 1.11	0,900 0,300 0,782 0,967 0,760 0,953 0,920 0,580 0,487 0,612 1,498 0,650 0,950	3 0 3.3 5.1 6.3 6.7 7 5 7 6 10.5 12.4 12 0 6 2 7.6 8.7 5.6	3.0 3.5 5.5 7.1 7.5 6.2 12.0 12.3 14.6 15.6	(1) ct(2) Les quantités sont exprimées en cent-millièmes pour simplifier l'écriture. (1) Les observations ont duré plusieurs jours. (3) l'est à tort que l'on supposerait la coexistence du rou lement et de la sus-pension, pour les vitesses 1.03 et suivantes L'écart absolu, par rapport à la loi des déplacements jusqu' V=1 016, ne peut correspondre qu'à une transformation complète du mode de transport. Si l'on était dans une période mixte, lorsque les vitesses varient de 1.03 à 1.33, les déplacements calculés ne différeraient que graduellement de résultats de l'observation. Au lien de cela nous voyons que des 1.03, celle-ci ne donne plus que moitié : ce reste de déplacements s'explique par la chute d'une partie des grain en suspension (conséquence forcée de la brusque diminu tion de vite-se en aval de l'extrémité saillante de la grève Aucune trace de la période mixte ne subsistant pour la vitesse superficielle 1,03, il est probable qu'elle était finie o

Le déplacement de la grève est nul pour la vitesse superficielle  $V = \sqrt{0.11}$ , qui est censée correspondre à la vitesse de fond 0,25. On pourrait écrire d (débit de sable par mètre de largeur)  $= m \times (V^* - 0.11)$ , en donnant à m la valeur 0,00013  $\times$  la hauteur moyenne des grèves 0,77 = 0,0001; mais ce débit ne peut dépendre de V seul, et H devrait entrer dans l'équation. La formule

$$d = m. (W^* - 0.06)$$

est évidemment preférable. A défaut d'observations, cherchons à apprécier quelle valeur de W il convient d'adopter pour V=1,016; ce sera la limite supérieure des vitesses de fond qui roulent le sable des grèves. La formule d=m. W' du paragraphe précédent serait applicable aux valeurs plus grandes de W. Le mouvement mixte n'existant plus lorsque la limite supérieure des vitesses roulantes est depassée de 1 centimètre, on admettra la même valeur numérique pour la limite inférieure des vitesses complètement suspensives; on aurait pu supposer une



RIVIÈRES A FOND DE SABLE

minime différence, mais les déductions sont sensiblement mêmes pour les deux hypothèses\*.

Si l'on attribue successivement à H les valeurs

l'équation

$$\frac{V}{U} = 1 + 14.\sqrt{\frac{H \cdot I}{U^2}} = 1 + 14.\sqrt{0.00028 + \frac{0.00035}{H}}$$

donne

$$U = 0.71$$
 0.75 et 0.78,

pour

$$V = 1,016$$
.

L'équation

$$\frac{W}{U} = 1 - 10. \sqrt{\frac{H \cdot I}{U^*}}$$

conduit ensuite aux valeurs de W:

Cependant le W limite supérieure des transports par roulem ne doit pas varier sensiblement avec II, et la fixite lui apparti plutôt qu'a la limite superficielle. Nous adopterons la moyer des valeurs ci-dessus,  $W \equiv 0.55$ , comme s'appliquant au sal des grèves de la Loire.

# IV. — Premier problème.

Revenons au problème simplifié posé au commencement d'cette étude, en introduisant la considération des deux vitesses limites. Nous supposons que le débit de la rivière est de 3 par mètre de largeur, ce qui nous permet de poser D=3 dL=1, sans que les phénomènes cessent d'ètre ceux des rivières larges, où le rayon moyen se confond avec H, puisque cels revient à diviser les deux membres de l'équation (2) par la largeur. Nous chercherons successivement ce qu'amènent les

101

<sup>\*</sup> Les sables très fins sont transportés en suspension par de petites vitesses; ce qui précède ne s'applique qu'aux sables des grèves.

vitesses de fond 0.55 et 0.25, pour étudier le phénomène au point de vue des deux modes de transport du sable :

le : W=0.53, les trois équations du § I deviennent :

$$\frac{\text{HI}}{\text{U}^2} = 0,00028 + \frac{0,00035}{\text{H}}$$

$$3 = \text{H.U,}$$

$$0,55 = \text{U} - 40.\sqrt{\text{H.I}}$$

on trouve :

$$1=0,000035$$
,  $H=4,50$ ,  $U=0,67$ ;

2º: W=0,25,

Les équations donnent :

$$I = 0.000003$$
,  $H = 10$  metres,  $U = 0.30$ .

Traduisons ces solutions en langage ordinaire.

Un lit de largeur régulière, rempli de sable qui ne se renouvelle pas, disposé suivant une inclinaison dépassant certaine limite, recoit un débit de 3 mètres d'eau par seconde et par mètre de largeur. Au bout d'un temps plus ou moins long, suivant la pente et la longueur du canal, un état d'équilibre instable s'établit; la profondeur d'eau est alors de 4m,50, la vitesse moyenne de 0m,67, la pente de 3 centimètres et demi par kilomètre et la vitesse au fond de 0,55. Cependant du sable est encore entraîné, mais en quantités de plus en plus petites pendant chaque seconde; après un temps considérable, on arrive à un nouvel équilibre. Celui-ci est définitif; il correspond à une Profondeur de 10 mètres, une vitesse moyenne de 0,30, une pente de 3 millimètres par kilomètre et une vitesse de 0,25 au

Bien que nos calculs s'appliquent à une rivière impossible débit constant, nullité absolue des apports solides, fond homogene sur une grande profondeur), il nous semble que la précision des résultats obtenus présente quelque intérêt. On peut dėja prévoir quel rôle important jouera, dans l'étude des rivières I fond de sable, la considération de la vitesse-limite des trans-Ports par roulement et par suspension (0,55).

## V. - Second problème.

La rivière que nous venons d'étudier ne reçoit pas de corps solides. Une partie des sables emmagasinés a été entraînée par les eaux, et il n'y a pas eu d'arrivage de matières nouvelles. L'état d'équilibre stable est atteint; les 3 mètres cubes de débit par mètre de largeur s'écoulent paisiblement, et forment une nappe profonde de 10 mètres sur un lit de sable immobile.

N'ajoutons d'abord qu'un élément de complication. Notre rivière, qui avait conquis son équilibre par un travail prolongé, reçoit maintenant 15 mètres cubes de sable par jour et par mètre de largeur; l'introduction se fait en un seul point par l'apport d'un seul affluent. Les caux semblent impuissantes, car leur travail journalier n'entraîne qu'une partie des 15 mètres, et l'œuvre précédente se défait graduellement; le fond s'exhausse au point d'arrivée des nouveaux sables, et le bourrelet s'étale vers la mer. La profondeur diminue, la pente et la vitesse moyenne augmentent.

Nous ne pouvons plus écrire (3) en attribuant une valeur à la vitesse de fond; mais la formule générale

$$W = U - 10.\sqrt{H.I}$$

nous apprend quel est le sens de la variation de W, car en remplaçant II. I par sa valeur tirée de (1), on a :

$$W = \frac{3}{H} \left( 1 - 10. \sqrt{0.00023 + \frac{0.00035}{H}} \right),$$

et l'on trouve que W devient 0,27, au lieu de 0,25, pour une profondeur égale aux neuf dixièmes de la précédente. La vitesse de fond s'accroissant à mesure que la rivière s'encombre, il y a là un principe d'équilibre qui finira par balancer la cause du désordre; les départs de sable seront égaux aux arrivages, lorsque la pente ou chute par mètre sera suffisante pour le travail correspondant.

Les sables des grèves de la Loire, que nous prenons pour type, roulent sur le fond lorsque W est au moins égal à 0,25, et le mouvement s'accélère assez régulièrement à partir de cette

vitesse. On peut exprimer le débit de sable par mètre de largeur, comme nous l'avons déjà dit, par l'équation

$$d = m \cdot (W^2 - \overline{0,25}^2),$$

m étant un coefficient à déterminer par l'observation. Mais lorsque la vitesse de fond dépasse 0,55, le débit de sable  $d = m W^*$ . Si donc la première équation conduit à une valeur de W au plus 15 égale à 0,55 pour  $d = \frac{13}{3.600 \times 24}$ , le mouvement de première espèce suffira pour écouler les apports; on obtiendra la profondeur, la pente et la vitesse moyenne du nouvel équilibre en portant dans (3) la valeur de W, et en combinant cette équation avec (1) et (2). Si, au contraire, cette formule du débit de sable donne une valeur de W supérieure à 0, 55, on ne tiendra pas

$$\frac{\text{HI}}{\text{U}^{*}} = 0,00028 + \frac{0,00035}{\text{II}},$$

$$3 = \text{H.U},$$

$$0,70 = \text{U} - 10.\sqrt{\text{II.I.}}$$

compte du résultat et l'on appliquera la seconde. Soit W = 0,70

la valeur que l'on en tire, on aura :

On trouve:

$$I = 0,00008$$
,  $II = 3^{n_1},50$ ,  $U = 0,86$ .

Lorsque l'apport de sable a commencé, nous avions une prosondeur de 10 mètres, une pente de 3 millimètres par kilomètre, une vitesse moyenne de 0m,30. Les sables nouveaux ont exhaussé le lit; mais la vitesse de fond W augmentant graduellement, on arrive toujours à une certaine valeur (0,70) pour laquelle le dit de sable est égal à l'apport. La surface du lit reste alors Axe à l'origine de l'ensablement, le fond s'exhausse en aval, et la rité du profil longitudinal (malgré la mobilité continue des sa Lles de la surface) s'étend finalement à toute la longueur. L'esquilibre mobile stable est alors obtenu, et la situation reste in desfiniment équivalente à elle-même, grâce à l'uniformité des debits solide et liquide.

pente nouvelle étant de 0<sup>m</sup>,08 par kilomètre, soit 0<sup>m</sup>,077 d'ausmentation, le relèvement du fond, au droit de l'affluent su pposé à 100 kilomètres de la partie maritime du fleuve, est de 70; le nouvel équilibre n'est obtenu qu'après un travail de soix ans. La profondeur ayant diminué de 6<sup>m</sup>,50, il n'y a que 1<sup>m</sup>,20 de relèvement du plan d'eau à l'origine de l'ensablement; ce relèvement devient nul à 15 kilomètres et demi de là, et se change plus bas en abaissement. Dans la partie inférieure, le phénomène présente plusieurs phases; nous nous bornons à indiquer où aboutit la dernière.

## VI. — Complications.

Après avoir considéré une rivière à fond de sable avec débit d'eau constant, sans nouveaux apports solides, nous avons admis une complication consistant dans un apport régulier de sable.

Modifions les données du second problème en ajoutant des débits liquides irréguliers à l'ancien débit constant, qui ne sera plus qu'un débit d'étiage. L'équilibre mobile qui venait de se constituer n'existera plus; mais l'intégrale du travail moteur étant accrue, on ne peut prévoir que des abaissements du fond, suivis de relèvements lorsque le débit revient à sa valeur minima.

L'irrégularité des apports de sable serait une nouvelle complication. Notre lit avait été façonné suivant une pente régulière, lorsque les débits d'eau et de sable étaient uniformes; des débits liquides additionnels ont ensuite amené des approfondissements. Considérant maintenant des crues amenant des apports supplémentaires d'eau et de sable, des relèvements ou des déblais du lit pourront se produire, suivant les circonstances. Le phénomène se compliquera beaucoup par le défaut de proportionnalité des deux apports; il y aura des phases de désordre et des temps de réforme. Pour un débit donné l'on constatera simultanément des effets très différents, aux divers points de la rivière, lorsque d'autres irrégularités s'ajouteront à celles que nous avons mentionnées. Le moment arrive où l'on est obligé de sortir des abstractions, et de considérer une rivière réelle.

On a omis l'exemple d'une rivière ne recevant pas de nouveaux sables, et débitant des volumes d'eau variables. Après une première rivière idéale, nous avons considéré celle qui reçoit un apport solide en continuant de débiter un volume d'eau constant, puis nous avons compliqué de plus en plus sans revenir sur nos pas. Le cas omis trouvera sa place dans l'étude qui va suivre, où nous nous occuperons spécialement de la Loire.



LA LOIRE DANS L'AVENIR

499

#### VII. – La Loire après la fixation des berges de l'Allier, etc.

Nous considérons les 75 kilomètres de fleuve compris entre la Maine et la Loire maritime. Le débit liquide supplémentaire, que la Maine ajoute à la Loire, n'est pour ainsi dire accompagné d'aucun apport de matières solides, ce qui est une circonstance très favorable.

A d'autres époques géologiques, les eaux ont apporté des masses de sable et d'argile dans les vallées de l'Allier et de la Loire; les crues remettent ces matières en circulation, en déterminant des éboulements de rives, tandis que les graviers et les sables de la partie montagneuse du bassin s'arrêtent au pied des coteaux\*. Seules, les vases de cette dernière provenance descendent aux rivières; mèlées aux produits des anciennes alluvions remis en circulation, elles se déposent dans les vallées ou s'écoulent à la mer.

On n'a pour ainsi dire à compter qu'avec l'emmagasinement de sable existant dans les lits mineurs, et avec les apports qui résultent de l'éboulement des rives. Supposons que celles-ci soient fixées, notamment le long de la Loire supérieure et de l'Allier, parties torrentielles où se produisent principalement ces éboulements. Que deviendra le fleuve au-dessous de la Maine avec son débit minimum de 100 mètres cubes ", après l'exécution de travaux convenables, et en quoi ceux-ci devront-ils consister?

La régularisation du lit mineur est toujours nécessaire, puisque nous avons encore des sables en mouvement \*\*\*, mais nous sommes déjà en mesure de prévoir que l'épuisement graduel des sables amènera la diminution de la pente. Pour prévenir l'éboulement des nouvelles rives du lit mineur dans la

\* Ceci n'est pas absolu; mais les constatations faites sous la direction de M. Comoy ont établi que les arrivages, aux lits des rivières, de matières provenant des hautes terres, n'ont qu'une importance tout à fait secondaire.

\*\* Ce débit correspond à l'étiage réel à Mauves (0m,40 au-dessous du 0 de l'échelle).

\*\*\* On ne pourrait songer à se passer de régularisation que si l'on ajournait à une époque éloignée l'espoir d'avoir une grande navigation, parce que les crues ont d'énormes débits et bouleversent le lit. Si l'on établissait des barrages mobiles, les débits ordinaires ne pourraient plus, après les grandes crues, rétablir les choses dans un état équivalent à l'état antérieur.

partie supérieure de la section de fleuve considérée, où avec le temps la hauteur du deblai deviendrait énorme, nous seron obligés de diviser les 75 kilomètres en biefs, pour limiter l'abais sement de l'étiage.

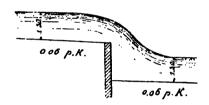
La nouvelle pente. - Le profil en travers de la plaine se conposerait, à partir des digues dites insubmersibles existantes d'une prairie non abritée que nous qualifions lit majeur; d' lit moyen provenant de portion de l'ancien lit mineur, et mant une surface inclinée défendue par des traverses et par plantations; enfin du lit mineur régulièrement endigué. même vers l'autre rive, jusqu'au coteau ou à la seconde di insubmersible. L'hypothèse de l'absence d'arrivages solid d'amont conduit à prévoir pour l'avenir un régime comparab dans l'ensemble, à celui de la Seine entre Paris et Rouen. aura le désavantage de débits beaucoup plus grands dans le crues, mais l'endiguement régulier facilitera la réforme de désordres correspondants. On comprend qu'on n'endigue pass 1 Seine, rivière tranquille; mais cette opération ne laisserait pas d'ètre favorable à la conservation du nouveau mouillage de 3<sup>m</sup>,20, pour lequel on réduira à zéro la pente de la ligne passant par les sommets du thalweg; l'entretien de cette profondeur coûtera cher en dragages, mais elle sera possible parce que les crues sont modérées. Dans la Loire, au contraire, une régularisation est nécessaire.

L'endiguement de la Loire, établi d'après les règles posés de en grande partie expérimentées par M. Fargue, ameant la réduction de la pente, le fieuve s'encaissera de plus en plus dans chaque bief, et il n'est guère possible d'assigner une limité à cette réduction. On peut dire cependant que le phénomère marchera vite tant que le volume de pleins bords, à l'arrivée au barrage, comportera au moins la vitesse-limite des transports de sable en suspension (W = 0,55). Supposons qu'on établisse le sommet des nouvelles rives à 1 mètre au-dessus de l'ancien étiage, niveau où le débit est actuellement de 430 mètres cubes à la seconde; pour qu'il n'y ait pas de débordement anticipé, près des barrages (à l'amont), c'est-à-dire aux points où l'en-caissement résultant de la diminution de la pente ne se fert

<sup>&</sup>quot;« La pente totale consommée entre les écluses, pour l'écoulement des caux de la Scarpe, était de 1<sup>m</sup>,90. Depuis les travaux d'amélioration de la cette pente n'est plus que de 0<sup>m</sup>,45. » (Annales, 1841.) — Postérioration à la première rédaction du mémoire sur les rivières à fond de sable (LEC) on a eu connaissance d'exemples de diminutions de pentes à la su guements : dans la Garonne au-dessous de Castets, et dans le 1 6 kilomètres en aval du confluent de la Saône.

pas sentir, il faut que ce débit de 430 mètres cubes puisse s'écouler dans le lit avec la vitesse de fond 0,55 admise pour le moment qu'on considère. Supposant une largeur de 200 mètres et appliquant les équations (1), (2) et (3), on arrive à une pente = 0,00006.

La profondeur 1<sup>m</sup>,30 que nous inscrivons sur le croquis correspond au débit d'étiage 100 mètres cubes et à cette pente de 0,0006. Les équations donnent une profondeur de 3<sup>m</sup>,12 pour le débit 430 mètres cubes du calcul précédent, d'où il résulte que l'absence du débordement anticipé sur le lit moyen aurait



production l'abaissement du lit mineur à 3<sup>m</sup>,12 — 1 mètre, ou 2<sup>m</sup>,12 au-dessous de l'ancien étiage, à l'extrémité de chaque bien plus bas à son origine. Cela correspondrait à de mides dépenses si l'on ne voulait pas attendre l'abaissement grandel de la pente, de 0,16 à 0,06 par kilomètre.

est donc possible qu'il soit nécessaire d'adopter une largent de plus de 200 mètres et de régler à plus de 1 mètre audes sus de l'ancien étiage la hauteur des nouvelles rives.

augmentation de la largeur aurait pour conséquence une inution de la profondeur à l'étiage. Mais cela importe peu si on établit des appareils mobiles sur les barrages, dont il n'y a it pas à abaisser autant la partie fixe. L'important, c'est la rection de la pente.

es chiffres précédents accusent une diminution kilométrique on, 10 dans la pente. L'altitude de l'étiage restant ce qu'elle a Mauves — ou le régime fluvial étant réglé par un barrage ce point, si l'on fait dans la partie maritime des travaux suscibles d'abaisser la basse mer jusque-là — cette diminution pente correspondrait à l'autre extrémité des 75 kilomètres considérés à un abaissement inadmissible de 7m,50; aussi avonsdit qu'on diviserait cette longueur en plusieurs biefs. Si con procédait à l'endiguement mineur sans en prévoir les conséquences, des éboulemenrs de rives auraient lieu, malgré les défenses ordinaires qui auraient été établies; on referait les parties détruites, d'autres s'ébouleraient à leur tour, et finale-

ment on déclarerait l'endiguement inadmissible, ou bien on le combinerait avec quelque procédé incompatible avec un grand développement de la navigation.

#### VIII. - La Loire actuelle.

Une action prolongée des digues mineures produirait de sérieux effets sur notre section de rivière, sans fixation des berges de l'Allier, malgré l'importance des arrivages de sable, qui ne proviendraient plus seulement des volumes emmagasinés dans le lit d'amont. Les paragraphes VIII et IX concerneront le commencement de ce qu'on a appelé la phase de transition, dans l'article Théorie du mouvement des sables. Ils nous feront connaître les premiers effets de l'endiguement dans la section considérée, sans tenir compte de l'amélioration supplémentaire que le temps amènerait.

Nous allons chercher quelle profondeur on peut obtenir immédiatement entre la Maine et la Loire maritime, sans attendre la défense des berges de l'Allier et de la Loire supérieure ". La création d'un bon lit mineur, à l'aide de digues basses et de dragages de premier établissement, permettrait aux débits moyens de régler eux-mêmes le chenal après les grandes crues. Pour que ces dernières s'écoulent dans de bonnes conditions, le niveau des rives du lit mineur doit être peu élevé.

Rendons-nous compte de ce qui se passerait en admettant encore la largeur de 200 mètres, et des berges à 1 mètre au-

\* En France, c'est seulement en 1880 qu'on a proposé d'établir dans le lit des rivières, iorsque l'endiguement réduit les pentes, des séries de seuils de fond, ou épis-noyés. Ce système a été quelquesois adopté dans d'autres pays; mais il n'est pas conciliable avec un grand développement de la navigation sur les rivières présentant de sortes declivités, parce qu'il ne conduit pas à la grande réduction des vitesses qui en est la première condition (voir l'Hydraulique fluviule). « Le courant, pour avoir perdu ses écarts qui étaient parsois un obstacle local infranchissable (sur le Rhône), n'en a donc pas moins conservé sa puissance moyenne, accrue plutôt que diminuée. » (Guillemain; voir ci-dessus, page 111.)

conservé sa puissance moyenne, accrue plutôt que diminuée. » (Gui!lemain; voir ci-dessus, page 111.)

\*\* « Le sable et l'argile qui forment le sol de ces vallées sont mis en circulation, par suite de l'éboulement des rives non défendues. Une partie reconstitue à petite distance des alluvions nouvelles; le reste marche vers la mer, à grande vitesse quant à la vase et aux sables très fins, à vitesses variables et intermittentes quant aux sables ordinaires. Ceux-ci sont usés pendant le transport, et deviennent de plus en plus faciles à déplacer. La fixation des berges ne donnerait pas lieu à une très grande dépense (20 millions au plus; voir les mémoires de M. Comoy). » (Nantes et la Loire. Un vol. in-8, 1870.)

dessus de l'ancien étings. En maintenant la condition de délinée 430 mêtres cubes sons enhancement d'es à-dire au niveau proposé des berges, on n'armait pas à concernir le cantiles pour ce qui concerne l'écondement des grandes cross. It Les l'étant donnés, les trois équations permettent de déterminer la profondeur et les vitesses aurappelles on accreait agrès un certain temps pour le délit supposé :

## H=2.32, U=0.55 et W=0.74.

la vitesse de fund dépasse notablement le limite inférieure des transports por suspension, ce qui est bien en rapport avec les besoins de la saturation.

Lorsque la Loire ne debilera pins que les 100 metres comes d'airge, il ne faut pas s'allemire à ce que la perfondeur son de 2,32-1=1,32. Rien ne prouve que si, en passant du debit 100 au débit 450, la Loire actuelle ne monte que de 1 metre, il en sera ainsi dans l'étal nouveau, et il est même hien certain que cela ne sera pas. L'enhaussement de 1 mêtre pour l'étan actuel ne peut, d'ailleurs, être qu'une moyenne des observations relevées à diverses échelles, ou le résultat de l'observation faite à une seule.

Les trois équations donnent, pour le débit 600, la pente 0,00016 et la largeur 300 :

## H=4 metre, U=0.50, W=0.375.

La vilesse W, notablement plus grande que la limite infificure des transports par roulement, dépasse les villesses de fond simultanées de la partie en amont de la Maine. Les boeds du lit mineur seront à 2,32 - 1 = 1,32 au-dessus de l'édiage, au lien de 1 mêtre, soit 0,32 d'abaissement de celui-ci. Le fond sera de même à 1,32 au-dessous de l'étiage aucien, parce qu'il se trouve que la profondeur, sous l'étage nouveau, est égale à la lauteur adoptée pour la crête des berges au dessus de l'étiage Précédent. La comparaison de la cote 1º 32, sous le zéro ancien, dux 10,67 de profondeur moyenne actuelle dans le thalweg, luontre qu'il n'y a pas à prévoir de dragages écormes pour la préparation du chenal régulier. Les dépôts seront faits économiquement dans les cases du lit moyen, où les traverses et plantations les défendront contre une action trop marquée des crues. On pourrait réduire les débiais dans un rectue de autre. n se résignant à ne pas jouir promptenum mélioration.

Dès que les courants extérieurs commont

tance, de grandes vitesses attaqueront les dépôts faits par la crue pendant le débordement; les parties affouillées en même temps se combleront de plus en plus, et la régularisation s'achèvera après la rentrée dans le lit. Un prompt retour des petits débits serait cependant une circonstance dangereuse.

Une crue débordée creuse des fosses profondes aux rentrées des courants extravasés dans le lit mineur. Chaque fosse est un réservoir qui recevra plus tard des sables provenant d'autres fosses creusées en amont et déposés dans les intervalles. Le désordre doit être d'autant mieux réparable que la Maine n'apporte pas de sable; le débit liquide de l'affluent, n'ayant pas à équilibrer un apport supplémentaire, facilite l'écoulement du volume précédemment charrié par le fleuve. La même chose a lieu pour le Cher, l'Indre et la Vienne; c'est donc surtout depuis l'embouchure du Cher que l'on peut compter sur l'endiguement du lit mineur, pour transformer la Loire.

Nous verrons que l'on peut obtenir, par certaines dispositions, une profondeur *minima* supérieure à celle de 1 mètre calculée ci-dessus, indépendamment de l'amoindrissement de la pente et de la division en biefs, qui sont en dehors de notre étude actuelle, puisque nous ne nous occupons que du commencement de la phase de transition.

Tracé du lit mineur. Largeurs graduées. Il est intéressant de rechercher s'il ne conviendrait pas de diminuer les largeurs aux points, connus à l'avance, où les profondeurs s'égalisent dans tout le profil en travers \*.

Nous tracerons l'axe du lit mineur en nous rapprochant le plus possible du thalweg existant, et en nous conformant au principe de la variation graduelle des courbures. (Annales, 1° semestre 1868.) Les formules Darcy ne cesseront pas d'ètre approximativement applicables si l'on fait varier les largeurs dans des proportions modérées, du moins pour les états de débits égaux établis sur de grandes longueurs.

Admettons d'abord que l'équivalence des équilibres mobiles, dans nos divers profils en travers, corresponde à l'égalité des

W. Les U seront approximativement égaux,  $\operatorname{car} \frac{W}{U}$  ne varie que

<sup>\*</sup> On sait que la profondeur du thalweg sera minima près de l'inflexion, et l'on sait aussi que des émergences se produiront ailleurs en saison de basses eaux; les endiguements parallèles correspondent donc, dans cette saison, à de plus grandes largeurs aux passages des sommets du thalweg. La routine est en définitive le système de la contraction à la mouille ou de l'épanouissement au maigre, en temps d'étiage, système qu'il suffit de définir par sa conséquence nécessaire pour le faire condamner.

dans le rapport de 0, 80 à 0,79 pour les valeurs 3 et 2 de II (formule 3). On a donc à peu près : LH = L'H' = L''H'', pour le profil intermédiaire et pour les profils du maigre et de la mouille. On adoptera pour L' une valeur plus petite que L, et par suite, pour bien ménager les courbures, on prendra L" > L, ce que l'inégalité des profondeurs dans le profil de la mouille permet de faire sans inconvenient. Lorsqu'on a calculé II au moyen de (1', (2) et (3), on peut tirer les autres profondeurs des équations approximatives ci-dessus, pour abréger les calculs, quand les largeurs sont connucs et les W supposés égaux.

La profondeur II' sur le maigre, un peu en aval d'un point d'inflexion ou de surflexion du tracé, étant plus grande que la profondeur moyenne II du profil intermédiaire (puisque L' est plus petit que L) sera, a fortiori, plus grande que la profondeur moyenne du profil en travers de la mouille. L'égalité supposée des W conduisant à la quasi-égalité des U, et Il' dépassant H", l'équation (1) montre que l'on aura I' < I'': la largeur rétrécie correspond à la plus petite pente, en même temps qu'à la plus grande profondeur moyenne '. Il y aura diminution de pente en allant de la mouille au maigre, augmentation en passant du maigre à la mouille; les variations de la profondeur moyenne seront en sens opposé de celles de la pente et de la largeur.

Pour le débit 430 et la pente 0,00016, les formules (1) et (2) conduisent à une profondeur moyenne de 2,32, dans le profil intermédiaire de 200 mètres. Soit 160 mètres la largeur au passage rétréci, l'équation approximative  $H' = \frac{L.H}{L'}$  donnera  $H' = 2^{m},90$ "; on trouve ensuite l' = 0,00012. Pour que les pentes concordent avec la moyenne actuelle 0,00016, il faudra qu'au profil de la mouille I'' = 0,00020. Des variations entre 12 et 20 ne sont rien, comparativement à celles des déclivités

produits par les crues cessent en grande partie de se faire sentir.

On ne doit pas perdre de vue que nous raisonnons d'abord dans l'hypothèse de l'équivalence des équilibres mobiles pour des W égaux, malgre la différence des largeurs; nous prendrons ci-après une hypothèse plus exacte pour base de nouveaux calculs.

<sup>\*</sup> Ce résultat suppose un tracé si bien fait que les désordres actuellement

<sup>\*\*</sup> Cette profondeur dépend des largeurs, et non pas seulement de la largeur minima, parce que le tracé de toute la courbe intervient pour la répartition des pentes. Il vaudrait mieux chercher W (équation 3); puis, sa valeur étant admise pour W, il ne resterait que trois inconnues dans les équations. C'est ainsi qu'on opère pour le profil de la mouille, parce que L'est au nombre des inconnues nombre des inconnues.

actuelles. La pente étant connue, les formules ordinaire donnent L' = 235 mètres au profil de grande largeur; o trouve en même temps H' = 1,97 pour la profondeur moyenme au moment du débit 430. Bien que cette profondeur moyenme soit dépassée de beaucoup par les précédentes, le point bas ca thalweg ne correspond pas moins au profil le plus large (coubure maxima); mais la fosse est moins profonde qu'avec tracé à largeur constante.

Les plus grandes profondeurs du thalweg ne peuvent se contrer dans toutes les courbes près des points à courbemaxima, malgré la moindre profondeur moyenne, que si désordres produits par le débordement précèdent ont été réprès. En général les dépôts accidentels disparaîtront facilemen lorsque l'on tracera bien les lits moyen et mineur. Les vitesse de fond deviendront efficaces dès la concentration des courants principaux dans le lit mineur, concentration qui sera bien antérieure à l'abaissement de la crue au niveau des crètes de ce lit, si le serpentement de l'axe n'est pas trop accentué.

Considérons le débit 200. En supposant les mêmes déclivités que ci-dessus, nous aurons au profil intermédiaire :

$$U = 1,49$$
,  $U = 0.68$   $W = 0.53$ ,

au profil rectangulaire:

$$II'=1,82$$
,  $I''=0,69$ ,  $W'=0,54$ ,

au profil de 235 mètres:

$$U'' = 1.25$$
,  $U'' = 0.68$ ,  $W'' = 0.52$ .

Les profondeurs moyennes 1,49 et 1,25 coexisteront avec profondeurs, dans le thalweg, supérieures à 1<sup>m</sup>,82, qui ser profondeur minima. Les pentes 20, 16 et 12, qui résulter nos largeurs pour le débit 430, nous conduisent à des vil peu différentes; on peut donc dire que le parallélisme des longitudinaux se maintiendra sensiblement, de 430 à 200 pothèse de l'équilibre correspondant à l'égalité des vétant admise.

les valeurs de I seront moindres et les profondeurs plus grandes

<sup>\*</sup> Ces déclivités actuelles sont de 0,01 à 0,44 par kilomètre; elle où conduisent des largeurs arbitraires et des tracés de hasard. Le désordre actuel absorbant une partie de la chute, la conc l'ensemble des pentes nouvelles avec les anciennes correspond à entrainement du sable. Cette concordance n'est qu'un état initie

Au moment de l'étiage (débit 100), on aurait :

H = 1,00, 
$$U = 0,50$$
,  $W = 0,375$ , et  $H' = 1,23$ ,  $U' = 0,51$ ,  $W' = 0,385$ .

La plus petite profondeur serait 1,23 dans le thalweg, la moyenne 1 mêtre du profil intermédiaire étant de beaucoup dépassée au point bas de celui-ci.

Les émergences qui se produiront dans les profils larges, pendant les petits débits, feront tendre L et L" vers L', et pourront même les faire descendre au-dessous. Si l'on arrivait à L=L"=L', l'action des courants tendrait à amener l'égalité des profondeurs moyennes en même temps que celle des vitesses, et par suite l'uniformité des pentes. A la limite on aurait 1 = 1" = 1' = 0,00016. Pour le débit 100, cela correspondrait dans tous les profils à une profondeur moyenne de 1,13; le thalweg, plus has partout ailleurs, ne présenterait que cette cote au passage du maigre. L'abaissement parallèle d'abord supposé (pentes de 20, 16, 12) nous donnait un maximum de 1m,23; l'annulation de toute variation de pente, d'un bout à l'autre de la courbe, nous conduit à 1,13; on verra que l'on peut réellement compter sur cette dernière profondeur, en s'appuyant sur la théorie des débits de sable.

Les différences des profondeurs moyennes, aux divers profils, ne sont pas constantes lorsqu'on passe du débit 430 au débit 100. Il importe de rechercher si cela implique nécessairement des déplacements locaux de sable. Les profondeurs moyennes étaient comparativement petites dans les profils larges, au moment du débit 430; mais dans la partie de ces profils qui ne découvre jamais les moyennes sont plus grandes, et ce sont celles-ci qu'il faut mettre en parallèle avec les profondeurs au profil du maigre, pour constater s'il y a variation dans les différences par le passage de ce débit 430 au débit 100. Le cas d'égalité des largeurs immergées, à l'étiage, conduirait à comparer l'égalité correspondante des profondeurs moyennes avec les différences antérieures, dans les 460 mètres à partir de la rive concave. Ces dernières ne sont peut-être pas négligeables, mais en tous cas la variation se trouve beaucoup moindre que si l'on ne tenait pas compte des émergences.

Il est impossible de prévenir les grandes variations des écoulements de sable par des profils voisins, pendant les crues débordées; on peut seulement les atténuer, notamment par la fermeture des dépressions accidentelles dans le lit mineur. Il faut donc tendre au règlement du lit mineur par les débits moyens. A défaut, les petits débits interviennent seuls pour rétablir la concordance annuelle des transports vers l'aval; mais ils ne peuvent agir sérieusement que par de minimes profondeurs, et une telle action suppose de grandes pentes au passage des maigres. Le remède à la rupture d'équilibre général se trouve correspondre à la ruine de la navigation, lorsqu'on n'a pas disposé les choses pour une utile action des crues ordinaires.

Bien que nous ayons borné notre programme à ne pas provoquer l'exhaussement des grandes crues, par les travaux destinés à améliorer la navigation, nous arriverons avec le temps à abaisser le niveau des eaux débordées. Il serait plus exact de dire que l'on compensera les exhaussements à prévoir par ailleurs, car on finira par consolider les digues insubmersibles, dont la rupture a atténué jusqu'ici les inondations.

Nous allons refaire les calculs en adoptant une base plus exacte que l'égalité des vitesses dans les divers profils; la considération des débits relatifs de sable, on doit le pressentir. est la pierre de touche des projets d'endiguement. Le volume des eaux sera encore considérable lorsque, après un débordement, le fleuve se concentrera dans les lits moyen et mineur; l'action régularisante sera tres énergique, si les tracés sont bien faits et bien combinés. Il se peut cependant que certains dépôts de la grande crue persistent en partie, jusqu'à la rentrée du fleuve dans le lit mineur; il faut qu'alors un débit relatif de sable se prononce ou continue sur les points encombrés. Le départ des dépôts sera facilité : 1º aux points d'inflexion par la moindre largeur; 2º du côté concave des autres parties par la forme même de la rive. Les fluctuations des crues ordinaires achèveront le travail du côté convexe, si des courbures trop accentuées aux sommets ne provoquent pas de très grandes profondeurs aux mouilles, et par suite, en face, un ensablement trop marqué.

La profondeur au-dessous de l'étiage est aujourd'hui de 1<sup>m</sup>,67 en moyenne, dans le thalweg de la Loire, en aval de la Maine; mais sur certains points on ne trouve que 0,40. A la page 42 de notre Rapport sur la transformation de la Loire maritime, nous avons donné la carte de quelques kilomètres de Loire fluviale, dans une partie où des digues discontinues ont été

m peut pas dire que le fleuve soit endigué, car m donne l'idée de quelque régularité, tandis qu'on mit :

bras principal à l'origine de l'extrait de cart	e.			mètres. 250
Dre on aval		-	100	140
tres plus bas	W.			220
14001 metres au-dessous de ce dernier point.	4	4	2	350
publies plas loin	10	3	20	200

délestable, et sont parfois à contre-sens des différences du délestable, et sont parfois à contre-sens des différences du on pourrait admettre ", on comprendra que l'inution des travaux faits dans la Loire fluviale ne prouve rien dire le système de l'endiguement. La variation monstrueuse pentes superficielles résulte forcément d'un tracé où le desordre est illimité.

#### IX – Formules des débits de sable dans la Loire. Applications.

Nous avons reproduit, vers le commencement de cette étude (§ III), un tableau qui fait connaître les vitesses superficielles observées sur les grèves en marche. Ce tableau ne donnant pas les vitesses de fond, nous avons employé les relations applicables aux cours d'eau réguliers, pour obtenir la limite inférieure des vitesses de ce genre donnant lieu à des transports de sable en suspension. Nous n'avons point dissimulé l'incertitude du résultat, et îl a été bien compris que cette marche est à rebours de celle qu'il aurait fallu suivre; mais nous n'étions pas en mesure de refaire les observations. La limite cherchee dépend moins de la profondeur que la prétendue limite superficielle; si l'on connaissait d'abord la formule en fonction de W, on la transformerait à volonté en remplaçant W par sa valeur en fonction de V et de II, ou de U et de II. Partant de la fonction de V, on est obligé de supposer une valeur constante du rapport W, pour ne pas introduire H en faisant une transfor-

\* Voir aussi l'Hydraulique fluvi de, page 330.

"Aucun succès n'est possible avec des largeurs plus grandes vers les points d'inflexion.

mation qui devrait au contraire l'éliminer. Les équations

$$\frac{V}{U} = 1 + 14\sqrt{\frac{III}{U^{2}}} = 1 + 14\sqrt{0,00028 + \frac{0,00035}{II}}$$
et 
$$\frac{W}{U} = 1 - 10\sqrt{0,00028 + \frac{0,00035}{II}}$$

donnent

$$\frac{V}{W} = \frac{1 + 14\sqrt{0,00028 + \frac{0,00035}{H}}}{1 - 10\sqrt{0,00028 + \frac{0,00035}{H}}}.$$

Pour II = 1, ce rapport devient 1,80 (ce serait 1,60 pour II = 3), et l'on a :

$$d = m \cdot (W^* - \overline{0,25}^*) = h \times 0,00013 \times (\overline{1,80}^*, W^* - 0,11),$$

puisque le débit de sable par mètre de largeur a pour mesure l'avancement de la grève  $\times$  la hauteur h de son sommet audessus du lit à la suite. Celle-ci étant en moyenne de 0,77 dans les observations, l'équation devient:

$$m(W^{2}-0.06)=0.0001\times(\overline{1.80}^{2}.W^{2}-0.11).$$

Four W =  $0^{m}$ ,50, on trouve m = 0,0037, et enfin:

$$d = 0,00037.$$
 (W<sup>2</sup> – 0,06). . . . . . (4)

Si l'on a pu établir une valeur numérique du coefficient lorsque la formule était en fonction de V, cela est bien plus admissible a vec la fonction de W. Cependant, les données étant insuffisantes, la valeur adoptée est incertaine.

Lorsque W dépasse 0.55, la formule devient d = m. W<sup>2</sup>. Nous conserverons la même valeur numérique de m, ce qui suppose une brusque augmentation du débit de sable, lorsque W franchit la limite séparative des deux espèces de mouvement, ce qui est bien en rapport avec les faits. L'équation des débits de sable par les grandes vitesses sera donc:

Les équations (4) et (5) permettent de résoudre cette question.

 $<sup>^{\</sup>circ}$  On trouve de 0,00040 à 0,00036 pour les valeurs de W comprises entre 0,40 et 0,55.

dans une rivière à fond très mobile, où les courbures du tracé et les largeurs sont bien graduées, quelle profondeur moyenne le débit D donnera-t-il dans le profil de largeur L', si l'on a Il pour la largeur L, et si ce débit D s'établit pour longtemps?

Lorsque les vitesses de fond sont supérieures à 0,55, l'égalité des débits totaux de sable donne :

$$LW' = L'W''$$

et à peu près :

$$LU^{\bullet} = L'U'^{\bullet}$$
.

En remplaçant U et U' par leurs valeurs tirées de (2), on trouve :

$$H' = H \cdot \sqrt{\frac{L}{L'}}$$

Pour les vitesses de fond comprises entre 0,25 et 0,55, la complication est plus grande. Nous adopterons cependant la même formule, en affectant le second membre d'un coefficient déterminé à l'aide des applications détaillées ci-après. On trouve :

II' = 1,04 II. 
$$\sqrt{\frac{L}{L'}}$$
. . . . . . . (6)

L'étant plus petit que L. Le coefficient serait 0,96 dans le cas contraire.

Pour les grandes vitesses, on aura plus d'exactitude en affec-

**ta** nt aussi H $\sqrt{\frac{L}{L'}}$  d'un coefficient; mais celui-ci différera bien

Peu de 1. Il n'est motivé que par la substitution du rapport des U à celui des W. On trouve 1,013, en faisant diverses hypothè-

Ses sur II, dans la valeur de  $\frac{W}{W'}$  donnée par les formules (3) et

(1). La largeur L' étant supposée la plus petite, on a donc lorsque les vitesses de fond dépassent 0,55 :

$$H' = 1.013 H. \sqrt{\frac{L}{L'}} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (7)$$

Cette formule est applicable à toute rivière à fond de sable bien endiguée, comme à la Loire, tandis que les coefficients de (4), (5) et (6) dépendent, directement ou indirectement, des observations faites dans ce fleuve.

# RIVIÈRES A FOND DE SABLE

Lorsque W est compris entre 0,25 et 0,55, et qu'en même temps W' est supérieur à 0,55, on a :

$$L(W^*-0.06)=L'.W'^*$$
,

après durée suffisante du débit commun.

512

Si l'on calcule les débits de sable, par mètre de largeur, pour les vitesses de fond :

0.50, 0.52, 0.54, 0.55; 0.55, 0.56, 058, 0.60, on trouve:  $0.000070 - 78 \stackrel{\cdot}{-} 85 - 0.000089 \Big| 0.000111 - 116 - 124 - 0.000133.$ 

La représentation graphique donnerait un ressaut vertical pour l'abscisse 0,55. Les débits compris entre 0,000090 et 0,000111 inclusivement correspondent à un état mixte, où les deux modes de transport se combinent en proportions variables. On se trouve dans le cas singulier d'une même vitesse qui, indispensable pour le travail 89, est suffisante pour le travail 111. Cela doit être compris dans le sens de différences très petites pour les vitesses de fond qui produisent ces débits divers. Lorsque, dans nos calculs, nous trouverons un écoulement de sable conduisant à W > 0.55 par l'application de (4), et à W < 0.55 par l'application de (5), nous devrons poser W = 0.55. Toutes les fois que l'arrivage est de 0,000089 à 0,000111 sur un mètre de largeur d'un profil, cette vitesse se prononce, soit de suite, soit au bout d'un certain temps (la persistance du débit liquide qui produit cet arrivage étant admise). Si, par suite des circonstances antérieures ou des rapports avec les parties voisines, W a d'abord une valeur différente, il y aura dépôt partiel ou entraînement supérieur, mais ce ne sera que momentané. Bientôt on arrivera à 0,55, avec cette circonstance que le débit par mètre 0,000111 n'exigera pas une vitesse sensiblement plus grande, et par suite une profondeur plus petite, que 0.000089.

Les parties où règnent des vitesses supérieures et inférieures à 0,55 sont nécessairement séparées, dans une rivière à fond de sable bien réglée, par une zone où W reste égal à 0,35; parfois deux zones se rejoignent pour n'en former qu'une, de part et d'autre du sommet du thalweg. Le débit de sable par mètre de largeur varie de 0,000089 à 0,000111, puis inversement, si la largeur d'origine et de fin de la zone double, dite alors zone complète, est dans un certain rapport avec celle du profil de

<sup>\*</sup> Voir les explications données ci-dessus, à la fin du § III.

l'inflexion; ce rapport est donné par l'équation 0,000089. L = 0,000fff L', d'où l'on tire L' = 0,80 L. Supposons que le mouvement de roulement se transforme en mouvement mixte, à partir d'un profil de 200 mètres; on n'arrivera au mouvement de suspension proprement dit (0,55s), avant de repasser par les mêmes intermédiaires pour retomber sur 0,55, que si les largeurs descendent à 200 imes 0,80 = 160. Pour le débit D qui écoule le volume de sable  $200 \times 0.000089 = 0.0178$  par seconde, dans le profil intermédiaire d'une de nos courbes, la zone de vibration regue depuis ce profil jusqu'à celui de 160 mètres (0,0178 = 160 × 0,000141); le rétrécissement n'allant pas plus loin, la zone se continue sans interruption jusqu'au profit de 200 mêtres sui-Yant. La vitesse de fond ne varie, dans cette étendue, que de quantités infiniment petites; le rapport des vitesses moyennes, el par suite celui des sections, est sensiblement égal à 1, malgré la grande différence des largeurs. En un mot, c'est pour le débit D que le rétrécissement produit son maximum d'effet.

Entre l'origine de la zone de vibration (largeur 200) et le centre de cette zone (largeur 160), l'approfondissement correspond alors à l'équation :

d'où

Il y a cependant lieu de multiplier 1,25 par un coefficient de correction, mais celui-ci est plus grand que 1. Voici le détail du

En divisant les deux membres de (3) par U, et combinant avec (1), on trouve :

$$\frac{0.55}{U}: \frac{0.55}{U'} = \frac{U'}{U} = \frac{1 - 10\sqrt{0.00028 + \frac{0.00035}{H}}}{1 - 10\sqrt{0.00028 + \frac{0.00035}{H'}}}$$

En essayant les valeurs H'=1,25 et 2,50 pour ff=1 et 2, on rrive à

t par suite à

Reprenant les calculs avec 4,27 et 2,54 (H') pour 1 et 2 (H), on etombe sur le même coefficient. L'équation

511

donne donc définitivement le maximum d'effet à demander au rétrécissement périodique, dans une rivière comparable à la Loire. On obtiendra ce résultat au moyen d'un tracé conforme aux conditions énoncées, au moment d'un débit D qu'il est possible de calculer; il suffit pour cela de mettre en équation, au moyen des relations connues, le problème dont voici l'énoncé : quel est le débit pour lequel une zone complète de vibrations régnera entre nos profils 200 et 160, et de celui-ci au profil 200 suivant? Le résultat tombe entre 200 et 250 mètres cubes. Ces débits ont de la durée, et parfois l'année se passe sans qu'on approche davantage du débit minimum; nous en conclurons qu'en définitive la phase de vibration pourrait bien correspondre au meilleur moment.

Si l'on ne veut pas se contenter d'approximation, le matériel du calcul devient compliqué, lorsque la loi des débits de sable varie dans la longueur de la courbe; il n'est plus permis de prendre la déclivité moyenne pour pente au profil intermédiaire, et par conséquent il faut mettre plusieurs profils simultanément en équations. Dans le cas précédent, il s'agit de déterminer : le débit de la rivière, la répartition de la pente, les profondeurs, les vitesses moyennes, la vitesse de fond au profil de 235 mètres, et le débit de sable, lorsque la vitesse de fond est  $0.55_r$  au profil de 200 mètres et  $0.55_s$  au profil de 160. La formule (4) appliquée à  $W = 0.55_r$ , ou la formule (5) à  $W' = 0.55_s$ , nous donne :

$$200.d = 160.d' = 0.0178$$
:

restent les inconnues

Nous avons les équations (1), (2) et (3) pour chacun des profils, l'équation (4) pour celui de 235 mètres, et

$$I'' + 2I + I' = 4 \times 0,00016 = 0,00064$$
;

soit 11 équations et 11 inconnues.

On verra, dans plus d'un cas, qu'en posant l = 0.00016 lorsque les vitesses ne restent pas soit roulantes, soit suspensives, d'un bout à l'autre de la courbe, on n'arrive qu'à des résultats plus ou moins approchés.

La marche simple des pentes successives, établic dans l'hypothèse d'égales vitesses de fond, ne subsiste que pour les zones de vibration, que caractérise précisément cette égalité. L'égalité approximative des sections LH, qui en resulte, correspond à la variation des H en raison inverse des L, tandis qu'ailleurs

c'est dans le rapport înverse des racines quarrées (équations 6 et 7). On peut encore dire que les profondeurs sont proportionnelles aux débits de sable par mètre de largeur, ou à leurs racines quarrées, dans les mêmes cas, puisque l'équilibre des débits solides totaux correspond à d L  $\equiv$  d'L'.

Pour le débit 200, on aura vibration ascendante depuis un profil moins large que le profil intermédiaire jusqu'au profil 460, et vibration descendante à la suite. Le rapport des lar-0.000089

geurs  $\frac{0,000089}{d'}$  étant supérieur à 0,80, d' n'atteindra pas 0,000111,

et l'ensemble des zones partielles ne fera pas une zone complète. La variation des profondeurs en raison inverse des largeurs existera encore de part et d'autre du profil de l'inflexion, mais dans une longueur plus petite que la moitié de celle de la courbe; l'approfondissement sera moindre que si le débit de sable atteignait la valeur maxima que peut donner 0,55. Hors le cas de la zone complète, la vitesse est toujours plus grande au profil de 160 mètres que dans celui de 200, car l'égalité  $d' \times 160 = d \times 200$  ne peut se concilier avec l'égalité des vitesses que pour W' = 0,55, et W = 0,55r.

Lorsque le débit fluvial est de 250 mètres cubes, la vitesse 0,55, correspond à un profil de plus de 200 mètres; la série ascendante des débits de sable 0,000089 à 0,000111, par mètre de largeur, est complète à partir de ce profil; puis règnent des vitesses supérieures à 0,55, de part et d'autre de l'inflexion. Arrive ensuite une série semblable à la précédente, en sens contraire, puis des vitesses inférieures à 0,55, de part et d'autre de la courbure maxima. La profondeur sur le maigre n'égalera plus 1,27. II, comme pour le débit D (entre 200 et 250 mètres cubes). Soit 1,70 la valeur qu'avait alors II, la profondeur sur le maigre était 2,18; II devenant 1,90, la profondeur II serait 2,43 si la même proportion subsistait. Cela supposerait un débit relatif de sable; mais celui-ci pourra ne pas exister, puisque le rapport des dernières profondeurs sera, en réalité, moindre que 1,27.

Les indications qui précèdent sont trop précises, eu égard à l'incertitude des formules. Mais il y a une chose non contestable : la quasi-égalité des vitesses aux points de la rivière qui comportent un mouvement mixte de sable, partie roulement, partie suspension. Ces mouvements mixtes passent inaperçus, lorsqu'on observe le phénomène sur un seul point par des débits différents, dans un fleuve très irrégulier; mais cela ne prouve nullement qu'ils ne régneront pas sur de grandes longueurs, par certains états du fleuve, lorsqu'on aura gradué les courbures et les lar-

geurs. Tout prouve au contraire que pareille chose existera; des conditions très différentes d'entrainement de sable, lorsque tout variera peu à peu, ne se produiront pas brusquement d'un point au suivant, ni en un certain point d'un moment à l'autre. S'il est bien démontré que, dans une rivière à fond très mobile, la gradation sera obtenue dans les pentes, en même temps qu'on la créera de main d'homme dans les courbures et les largeurs, il est impossible qu'il y ait brusque passage d'un mode de transport à un autre. La gradation des débits de sable par mètre de largeur sera maintenue, même quand ce mode se transformera; avant que la suspension, commençant à coexister avec le roulement, n'ait pris une grande importance dans le profil de 160 mètres, elle se fera déjà sentir dans celui de 165, et ainsi de suite.

Si le débit du fleuve varie rapidement, les phénomènes se compliquent, même si l'on ne considère que des débits ne comportant pas de débordement; mais la complication n'existera pas plus pour les débits relatifs de sable que pour les pentes; la gradation se refera simultanément en toutes choses, comme elle existe dans les courbures et les largeurs, lorsqu'un égal débit se maintiendra dans les profils comparés. Le brusque changement qui se manifeste aujourd'hui, pour certains accroissements faibles des débits, dans la marche des grèves, correspond au brusque abaissement du lit au bout de celles-ci. Rien ne peut modérer l'accroissement de d, lorsque des valeurs très différentes du débit de sable résultent d'une minime variation de W; la saillie de la grève rend le phénomène indépendant de ce qui se passe à la suite. Toute autre scrait l'évolution dans notre lit à largeurs et à courbures graduellement changeantes. L'augmentation du débit de sable, résultant d'un commencement de suspension dans le profil de 160 mètres, produirait en aval un petit dépôt; de là tendance à la décroissance de l'et par suite à la modération dans la vitesse, en même temps que le dépôt provoquerait en aval une augmentation de celle-ci. Une série d'actions et de réactions se produisant de la sorte, le phénomène serait bien comparable à une vibration se propageant de proche en proche. Cette vibration s'étendrait à toute la rivière, pour un certain débit, si le profil maximum n'avait que 200 mètres; l'écoulement de sable serait partout de 0,0178; par mètre de largeur il varierait de 0,000089 à 0,000111. Le débit fluvial augmentant, les parages de l'inflexion se dégageraient de la zone, qui arrivait à n'occuper qu'un faible espace de part et d'autre de la mouille, puis disparaitrait. La durée du phénomène ne serait

pas infiniment petite, bien que les W le caractérisant ne différent pas entre eux de quantités mesurables ; le commencement correspond au débit de sable  $160 \times 0.000089 = 0.0142$ , et la fin au débit  $235 \times 0.000111 = 0.0261$ .

Pour l'équilibre, il faut qu'on ait alors :

La phase spéciale ayant commencé avec  $W'\equiv 0.55$ , on voit que sa durée sera notable ; telles fluctuations du débit de la

rivière la prolongeront parfois longtemps.

Catableau d'un équilibre vibratoire, à la fois très mobile et lrès stable, n'est malheureusement qu'une image simplifiée des faits. Après avoir considéré la vibration longitudinale, comme si Wétail uniforme dans chaque profil en travers, nous sommes blen obligés de reconnaître qu'il y aura de même vibration trans-Versale, car le profil de plus petite largeur est le seul où, pour chaque débit, la vitesse de fond soit à peu près constante. C'est en n'alité dans le profil de la mouille, le long de la rive concave, que la vitesse de fond deviendra d'abord un peu suspensive. puis devant, derrière et en côté; le débit continuant de croitre, cel effet s'étendra et s'accentuera de plus en plus. Au moment où W, régnera dans les 160 mètres du profil de l'inflexion, les hes occuperont de part et d'autre la surface de deux quadrilalères curvilignes, avec des échancrures du côté concave, répondarıt aux W > 0,55; les bandes externes du côté convexe correspor dront aux vitesses inférieures à 0,55, et même pour une "Lie à 0,25. Il serait fort difficile de soumettre le phénomène au al cul, dans sa complication vraie; mais aucune différence réelent importante ne résultera, pour la pratique, de la simplifia Lion admise dans nos raisonnements. C'est en effet sur le profil l'inflexion que la différence sera le moins sensible, et c'est Écisément ce point qui nous intéresse le plus.

Si nous considérons le module, ou débit moyen (800 mètres de bes par seconde), nous trouvons que la vitesse de fond sera de 0.80, aux points où la largeur du lit mineur est de 200 mètres. Le débit de sable étant supposé nul dans la partie immergée du

lit moyen, on aura :

$$d = 0.00037 \times 0.80 = 0.00024$$
, et  $d \times 200 = 0.048$ .

Cela ferait i million et demi de mètres cubes par année, c'est-àdire plus de trois fois et demie l'écoulement actuel dans notre section de Loire, une fois et demie le débit actuel immédiatement au-dessous du Bec-d'Allier\*. Le versement au droit de l'embouchure de la Maine n'étant en movenne que de 0,013, le débit ne serait égal à 0,048 qu'aussitôt après la construction des digues; ensuite il décroitrait graduellement. L'approfondissement diminuerait W et par suite d.

Au point de vue de la partie maritime la situation dépendra, pendant la phase de transition, de l'importance des dragages dans le lit mineur fluvial. L'économie, sous ce rapport, serait compensée par une aggravation de désordre près de l'embouchure.

L'encombrement de l'embouchure progressera tant qu'il n'y aura pas équation entre :

1º Le volume annuel des arrivages dans la partie maritime; 2º Le volume que les courants de marée pulvérisent dans le même temps, de manière à en rendre l'entraînement possible vers le large ou sur les dunes.

Plus défectueuses sont les formes et les dimensions du lit fluvio-maritime ", plus les sables arrivent gros dans la baie et plus ils s'y accumulent.

La transformation du bas du fleuve en un meilleur atelier de

\* « La totalité des sables et des graviers arrachés aux rives par la corro-« La totalie des sables et des graviers arraches aux rives par la corre-sion des eaux est de 2.300.000 mètres cubes, année movenne, et l'on est autorisé à évaluer à un chiffre tres petit le volume de sable qu'apporte, aux rivières principales, chacun des ruisseaux des pays de montagnes.... Les sables arrachés aux rives s'immobilisent, en très grande partie, sur les lieux mêmes de leur production, et il n'entre en mouvement dans les lits des ri-rières qu'une partie minime de ces matières.... Il serait difficile de trouver l'origine d'une masse de sable dépassant ou atteignant chaque année plusieurs millions.

a Tout porte à penser que le chiffre de 1 million représente mieux l'importance du phénomène.... Nous avons vu qu'on culève du lit de la Loire, pour les besoins des populations riveraines, environ 600,000 mètres cubes de sable et de graviers par an » (Comoy).

Pour faire un plus grand transport de sable (près de 1 million de mètres immédiatement au-dessous du bec d'Allier, au lieu de 400,000 mètres cubes à Yanton la Leire gravieurs auxil besti d'une plus grand transport de sable (près de 1 million de mètres immédiatement au-dessous du bec d'Allier, au lieu de 400,000 mètres cubes à Yanton la Leire gravieurs que peut de la company de la leire gravieurs que la leire gravieurs que la leire gravieurs que la leire gravieurs de la leire gravieurs que le le financier de la leire gravieurs que la leire gravieurs que le leir

a Nantes), la Loire supérieure avait besoin d'une plus grande pente. Non-seulement le débit solide est au moins double, mais le débit d'eau est moindre, le fleuve n'ayant pas encore reçu la Maine, etc. Une plus grande régularité aurait pu rétablir l'égalité des pentes, mais on sait que les formes du lit sont aussi défectueuses en amont qu'en aval.

Il ne faut pas, d'un autre côté, attacher trop d'importance au débit de sable

calculé pour le module 800 mètres cubes; rien ne prouve que ce soit réelle-

ment le débit moyen annuel.

"En rédigeant le projet d'amélioration d'une rivière à marées, à fond de sable, on s'imposera la condition de faciliter l'usure des grains par les courants de flot et de jusant, en amont de la baie; les moyens propres à atteindre ce but correspondront nécessairement à de bonnes profondeurs. Les sables pourront alors sortir peu de temps après leur arrivée dans les parages de l'embouchure, au lieu de s'y attarder.

FORMULES DES DÉBITS DE SABLE DANS LA LOIRE

519

ļ

trituration, par les moyens exposés dans une autre étude, abrégerait la crise provoquée par l'endiguement fluvial. Dans le cas où l'on se bornerait à créer l'endiguement continu, et à faire les dragages de premier établissement, les encombrements produits vers Nantes ralentiraient la diminution graduelle de la pente. La phase de transition tirerait d'autant plus en longueur que la parlie maritime serait moins réformée.

Lorsque, après une grande crue, les eaux rentreront dans les lits moyen et mineur disposés comme nous le proposons, les désordres apportés par le débordement tendront à s'effacer. En tout cas, l'ordre achèverait de se faire pendant l'écoulement concentré dans le lit mineur; partout où subsisterait encore un amas anormal, la valeur plus grande de W provoquerait un Plus grand écoulement de sable, et le fond se régulariserait. Il importe de se rendre bien compte du phénomène dans la phase des très petits débits, où nous voudrions jouir encore d'une bonta e navigation. Nous le ferons en nous basant sur l'équation

$$d.L=d'.L'$$

question à résoudre pourrait s'énoncer ainsi: jusqu'à quel poirs t le rapprochement des rives, au passage de l'inflexion, com Pensera-t-il la forme défavorable du profil en travers? La Contraction primitive ne peut se maintenir complètement jusqu'à l'étiage, parce que le point à courbure nulle est le seul où la figure de la section prévienne toute émergence ". Nous allons faire successivement deux hypothèses : 1º émergences à partir du débit 200; 2º émergences antérieures telles que la largeur maxima 235 soit, pour ce débit, réduite à 200 mêtres.

Dans une rivière bien tracée, à fond très mobile, l'équilibre qu'exprime cette équation se rétablit promptement lorsqu'il a été troublé (D supposé le même dans les profils comparés; cela exclut le cas des débordements, car alors l'égalité des D n'existe qu'en tenant compte du débit par le lit majeur).

Si d'est inférieur à  $\frac{dL}{L'}$ , il y a exhaussement du fond dans le profil étroit;

par suite W' augmente, ce qui ramene l'équilibre.

Un mauvais tracé, des largeurs exagérées, empêcheraient l'équilibre des dL Un mauvais tracé, des largeurs exagerces, empecneraient l'equilibre des au de se refaire promptement pour les débits concentrés dans le lit mineur, parce que les remaniements nécessaires seraient trop considérables après les crues débordées. Avec un meilleur tracé, l'écart résultant de la variation des différences H'— Il sera moindre; on reviendra vite à l'égalité des débits de sable, pour peu qu'une certaine valeur de D se maintienne.

Ces considérations s'éclaireiront par des exemples.

\*\* Ceci se trouve heureusement modifié par la récente idée de M. Fargue, consistent à disposer le tracé de telle manière que le minimum de largeur

consistant à disposer le tracé de telle manière que le minimum de largeur corresponde à deux rives convexes. (Annales, 1882; Hydraulique fluviale, page 378.)

į

1° On a déjà calculé les vitesses et la profondeur au point situé à égale distance du maigre et de la mouille (profil intermédiaire) pour le débit de 200 mètres cubes, en supposant tout le lit mineur immergé. Nous avons trouvé en ce point, pour la pente 0,00016 et la largeur 200:

$$H = 1,49$$
,  $U = 0,68$  et  $W = 0,53$ .

Cherchons quelle vitesse de fond sera nécessaire, sur les 160 mètres de largeur au point d'inflexion, pour débiter le volume de sable qui passe dans le profil précédent. Ce volume est

$$d \times 200 = 200 \times 0,00037 \times (\overline{0.53}^{\circ} - 0.06) = 0.016$$
;

la vitesse cherchée sera donnée par l'équation :

$$0.016 = 160 \times 0.00037 \times W''$$

si celle-ci conduit à W' > 0,55. Mais elle donne 0,52 et l'autre équation donne 0,57. Il faut prendre W = 0,55, et l'on devait s'y attendre, car d'=0,0001; la zone de vibration est incomplète, parce que la vitesse de fond 0,55 ne se trouve qu'au profil de 180 mètres (le maximum d'effet de la vibration n'aurait été obtenu, par le débit 200, que si la largeur minima eût été :  $180 \times 0,80 = 144$ ). La vitesse moyenne et la profondeur correspondantes seront données par les équations :

$$\frac{0.55}{U'} = 1 - 10.\sqrt{0.00028 + \frac{0.00035}{II}},$$

$$200 = 160. \text{ H'}. \text{ U'}.$$

$$U' = 0.71, \qquad II' = 1.76,$$

$$1' = 0.00014.$$

puis

On trouve

et

De même on obtient :

$$W'' = 0.49$$
,  $U'' = 0.65$ ,  $II'' = 1.31$  et  $I'' = 0.00018$ .

L'excédant de II' sur la profondeur 1,49 au profil intermédiaire, malgré la considération des débits de sable, est un fait capital, dû en partie à l'accélération de ces débits par le mouvement mixte (sans accroissement de W de 180 à 160). Voyons ce qui se passe lorsqu'on descend à l'étiage, en admettant qu'il ne reste que 180 mètres d'immergés au profil intermédiaire. On aura :

$$U = 0.525$$
,  $H = 1.06$ ,  $W = 0.395$ ,  $180 \times d = 0.006$ ,

puis

$$W'=0.40$$
 et  $U'=0.54$ ,  $II'=1.45$ ,  $I'=0.00015$ .

De même au profil de la mouille, où l'émergence réduit la largeur à 200 mètres environ,

La profondeur minima est 1,15, puisque le fond est sensiblement horizontal dans le profil du maigre '; aux autres profils, il y aura davantage dans le thalweg, quoique les moyennes soient 1,06 et 0,98. La différence 0,27, qui existait précédemment entre la profondeur au profil de l'inflexion et la moyenne du profil intermédiaire, s'est changée en 0,09; mais cela ne prouve pas un relèvement du maigre, parce que 1<sup>m</sup>,06 ne s'applique pas à la même largeur que 1,49. La première différence n'était que de 0,12, en ne considérant au premier profil que les 180 mètres encore immergés par le débit 100. Les 0,09 de différence ultérieure n'indiquent donc presque aucun débit relatif de sable entre les moments des volumes d'eau considérés.

Dans ces calculs nous avons appliqué à toute la largeur la vitesse de fond qui correspond à la profondeur et à la vitesse moyennes. Il importe de voir si l'on arriverait à une profondeur minima différente en faisant le calcul avec plus de rigueur. Pour le débit 200 mètres cubes, les 78 premiers mètres du profil de la mouille, à partir de la rive convexe, ne débiteront pas de sables (vitesse de fond, 0 à 0,25); les 99 mètres suivants écouleront 0,0044 par roulement sur le fond, et les 58 derniers mètres 0,0113 par mouvements mixte et de seconde espèce. En tout 0,0157 au lieu de 0,0160. Pour le profil de l'inflexion. l'équation :

0,0157 = 
$$160 \times 0,00037 \times (W'^2 - 0,06)$$
  
donne  $W' > 0,55$ ,  
et l'équation (5)  $W' < 0,55$ .  
Donc  $W' = 0,55$ ,

et l'on retombe sur les valeurs précédentes de

<sup>\*</sup> Voir la dernière note ci-dessus.

## RIVIÈRES A FOND DE SABLE

On n'a pas à s'occuper des variations de W', puisque la section du profil est rectangulaire. Lorsque le débit sera réduit à 100 mètres cubes, on aura dans les 200 mètres immergés du profil de la mouille: 1° débit de sable nul sur 88 mètres; 2° 0,0047 sur les 106 mètres suivants, vitesses de 0,25 à 0,55; 3° 0,0007 sur les 6 derniers mètres. En tout 0,0054, au lieu de 0,006. La vitesse correspondante W', dans le profil de l'inflexion, serait de 0,39 au lieu de 0,40; il y aurait à prévoir une petite augmentation de la valeur précédemment calculée de H', pour le moment des plus basses eaux. Nous ne tiendrons pas compte du supplément, et nous continuerons à employer la méthode expéditive.

2º Le débit 200 trouve, dans la seconde hypothèse, 200 mètres immergés au passage de la mouille, 180 mètres au profil intermédiaire et 160 mètres à celui du maigre. Admettons que ces données s'appliquent à la courbe qui suit celle dont on vient de s'occuper. Il faudra compter sur le versement du volume de sable ci-dessus déterminé; on aura d'abord :

$$0.016 = 200 \times 0.00037 \times (W''^2 - 0.06)$$

et

522

$$W'' = 0.53;$$

puis

$$U'' = 0.88$$
,  $II'' = 1.49$ ,  $I'' = 0.00016$ .

Ensuite

$$0.016 = 180 \times 0.00037 (W^* - 0.06)$$

d'où

$$W = 0.55$$
,  $U = 0.71$ ,  $II = 1.56$ ,  $I = 0.00016$ .

Enfin, au profil du maigre:

$$W'=0.55$$
,  $U'=0.71$ ,  $H'=1.76$ ,  $I'=0.00014$ .

Ces calculs donneraient une pente moyenne inférieure à la moyenne générale, ce qu'il faut interpréter. Supposons que notre courbe se trouve suivie d'une courbe semblable à la précédente, qui débite 0<sup>mc</sup>,016 de sable par seconde, avec la pente moyenne 0,00016. De deux choses l'une : ou la courbe intermédiaire sera tracée de manière qu'elle débite le même volume de sable, avec cette même moyenne, ou les crues l'auront façonnée de manière que 0<sup>mc</sup>,016 ne puisse pas correspondre à 0<sup>m</sup>,00016 pour le débit 200. C'est ce dernier cas qui résulte des émergences supposées ci-dessus; les deux centimètres de différence

dans la chute totale calculée se répartiront, au lieu de se manifester brusquement à l'extrémité de la seconde courbe; le versement de sable à la troisième sera un peu supérieur à 0,016.

Au moment de l'étiage, nous supposons que la largeur soit uniformément de 160<sup>m</sup> dans notre seconde courbe. Le débit 100 et la pente 0,00016 donnent alors :

$$H = 1,13$$
,  $U = 0,532$ ,  $W = 0,42$ ,

pour tous les profils. On trouve sensiblement le même débit de sable que dans la courbe précédente. Au moyen d'une figure très simple, il est facile de voir que la profondeur moyenne dans le profil de la mouille, sur les 160 mètres qui ne doivent pas découvrir, était égale à celle du profil étroit au moment du débit 200. L'égalité des làrgeurs pour le débit 100 ne suppose donc aucune différence dans les débits de sable, pendant la descente à l'étiage.

Il paraît démontré, par la comparaison des valeurs de II' dans les calculs précédents, qu'il n'y a pas d'inconvénient à tendre vers l'égalité des largeurs à l'étiage. Mais il ne faut pas aller beaucoup plus loin; l'avantage de débiter du sable sur une plus grande largeur, dont jouirait le passage de l'inflexion, serait plus que balancé par l'inconvénient de débiter de l'eau sur cette largeur dominante. Il sera nécessaire d'accentuer modérément le tracé, sans quoi les émergences seraient exagérées, mais assez cependant pour que celles-ci s'étendent régulièrement le long des rives convexes,

Appliquons le calcul à l'exemple d'un tracé parallèle de 180 mètres, avec réduction à 140 mètres dans le profil de la mouille au moment de l'étiage.

On aura pour le profil intermédiaire :

$$I = 0.00016$$
,  $D = 100$ ,  $L = 160$  mètres.

Les équations donnent :

$$H = 1.13$$
,  $U = 0.552$ ,  $W = 0.42$ ;

débit de sable :

$$160 \times d = 0$$
 mc.  $0068$ 

Partant de ce dernier résultat, on trouve :

$$W' = 0,40$$

pour le profil de 180 mètres au point d'inflexion, et

$$W'' = 0,436$$

pour le profil de la mouille réduit à 140 mètres par l'émergence. La méthode ordinaire donne ensuite :

$$U' = 0.53$$
,  $H' = 1.05$ ,  $I' = 0.000163$ , et  $U'' = 0.57$ ,  $H'' = 1.25$ ,  $I'' = 0.00015$ .

La concordance des pentes avec la moyenne n'est pas parfaite; cela prouve que les émergences supposées ne se concilient pas avec un égal débit de sable à tous les profils, ou avec la pente 16 au profil intermédiaire; mais la différence est faible, et les débits relatifs qui pourraient exister sont négligeables. Les profondeurs moyennes étaient toutes égales à 1<sup>m</sup>,56 lors du débit 200 mètres cubes, en supposant que les émergences n'aient commencé qu'à ce moment. Dans les 140 mètres qui ne devaient pas découvrir, au profil de la mouille, la profondeur moyenne était de 1<sup>m</sup>,88; pour qu'elle se réduise à 1<sup>m</sup>,25, il faut un abaissement de 0m,63 entre les débits 200 et 100, ce qui donnerait seulement 0<sup>m</sup>,93 sur le maigre si la surface de l'eau descendait parallèlement. Au lieu de cela, l'équilibre des débits de sable correspond à 1<sup>m</sup>,05, et la variation des pentes n'explique pas la différence. Les positions relatives du fond, pour l'égal débit solide par le volume 200, ne conviennent donc plus pour 100 mètres cubes. L'équilibre ne peut exister immédiatement, à l'étiage, qu'à la condition d'un déblai sur le maigre et d'un remblai dans la mouille, pendant les débits intermédiaires. Rien ne prouve qu'on approchera davantage de 1<sup>m</sup>,05 que de 0<sup>m</sup>,93; cela dépend de la durée de ces débits intermédiaires et de la longueur de la courbe. Si l'on passe vite de 200 à 100, le tirant d'eau minimum sera plus ou moins longtemps inférieur à 1 mètre. Un lit mineur de 480 mètres ne vaut donc pas, pour la navigation, le tracé bien gradué de 235 à 160 mètres, puisque celui-ci nous assure 1<sup>m</sup>,13 par les plus basses eaux.

Pour fixer les idées, nous avons raisonné sur une section déterminée de la Loire; mais nos calculs ne sont qu'un essai et l'on ne peut prétendre à élucider les questions soulevées qu'après des expériences méthodiques sur des canaux à fond de sable.

## X. - Résumé et conclusion.

Lorsqu'on endigue une rivière à fond mobile, les conditions du transport des matières du lit sont changées. Par conséquent, la faculté de débiter du sable ou du gravier d'un bout à l'autre des digues n'est plus la même qu'autrefois, et l'on admettra facilement qu'elle soit augmentée, comme d'ailleurs l'expérience le démontre.

Sur une section de rivière qui se dégarnit de sable, la pente du fond et par suite la pente superficielle tendent à diminuer. En amont de la partie endiguée, le lit de la rivière, déblayé au pied, se met en marche, et entre les digues l'évolution traine en longueur. Ce serait bien autre chose si ces digues n'étaient pas assez solidement établies pour résister aux abaissements du fond; les éboulements de rives amèneraient des complications continuelles, et l'on ne tarderait pas à déclarer la rivière incorrigible.

Il faut donc qu'un projet d'ensemble précède tout travail partiel, si l'on veut que les travaux aboutissent à des résultats sérieux. Ce projet devra nécessairement comprendre de nombreux forages dans le lit, permettant d'établir ce qu'on appelle un peu ambitieusement un « profil en long géologique ».

La diminution de la pente devant résulter d'une augmentation des débits de sable ou de gravier (dominance des départs sur les arrivages), le phénomène comporterait de grands abaissements vers l'amont de la section endiguée, si le lit était défendu à l'extrémité amont de cette section, si les nouveaux bords étaient préservés de toute atteinte par un entretien suffisant, et si l'aval pouvait recevoir sans exhaussement du thalweg l'excédant des arrivages. Mais le régime nouveau ne s'établirait complètement qu'après un grand nombre d'années, si la section était longue, et la défense des rives occasionnerait des dépenses par trop élevées.

On arrive donc à constater ce qui suit :

La division de la rivière en biefs limités par des barrages est une conséquence nécessaire d'un endiguement bien fait.

Cette conclusion est-elle purement et simplement le rappel de la pratique ordinaire de la canalisation en lit de rivière? Non.

RIVIÈRES A LITS PEU MOBILES. — Quand on canalise une

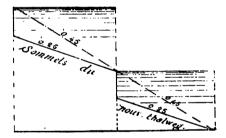
rivière à fond peu mobile, il peut arriver que la base fixe des barrages corresponde à peu près au niveau du lit, et que l'exhaussement des eaux résulte seulement de l'addition d'appareils mobiles. Ceux-ci sont assez hauts pour que les eaux, relevées, noient à la hauteur voulue le radier de l'écluse accolée au barrage d'amont. On échelonne les eaux, qui en temps d'étiage forment comme un escalier à larges marches, tandis que le thalweg conserve son ancien profil longitudinal, à quelques corrections locales près.

RIVIÈRES A GRANDS DÉBITS DE SABLE OU DE GRAVIER.

— Une rivière à grands débits solides a besoin de quelque chose de plus, si l'on veut y créer une grande navigation.

Il faut disposer son tracé de telle manière que toute la section à fréquenter par les bateaux soit capable de débiter plus de sable ou de gravier qu'autrefois, avec la même pente totale, et puisse par conséquent en débiter autant avec une moindre pente.

La différence des pentes totales ancienne et nouvelle se tra-



duira par une chute brusque à la limite amont de la section endiguée, moyennant la construction à cette limite d'un barrage en maçonnerie. Le dessus de ce barrage sera établi au niveau du fond d'amont.

Exemple. — Une rivière à fond de gravier présentant une pente moyenne de 0<sup>m</sup>,45 par kilomètre, à l'état naturel, ne comporte plus qu'une pente de 0<sup>m</sup>,25 par kilomètre après l'action suffisamment prolongée de l'endiguement. Ce phénomène s'ex-

sont casés sans relever l'étiage.

"Ces chiffres 0,45 et 0,25 se rapportent aux six premiers kilomètres du Rhône après le confluent de la Saône; il y avait  $0,45 \times 6 = 2,70$  de pente

4

s. - 0 5

<sup>\*</sup> Ceci suppose qu'à la suite de la section endiguée la rivière puisse recevoir le supplément de matières solides, ou qu'on drague les volumes qui arriveraient à en modifier le régime. Les arrivages supplémentaires, dans les 20 kilomètres de la Garonne immédiatement au-dessus de Bordeaux, se sont casés sans relever l'étiage.

plique par l'augmentation de la faculté d'entraînement des maières solides du lit, à pente égale.

L'amoindrissement de la pente n'a pu se produire prompteent que s'il existe en amont de la section un profil en travers ù le fond de la rivière soit fixe, naturellement ou artificiellement ond de rocher, barrage, ou solides enrochements généraux dans Emplacement d'un pont). Nous supposons qu'on se trouve dans cas d'un barrage et que, par suite de la longueur de la section, n en ait établi un second vers le milieu de celle-ci.

Voici comment les choses ont du se passer, pendant la phase le transition : Entre les deux barrages, la masse de gravier Sortant par l'aval, année moyenne, a été supérieure au volume Intrant par l'amont. Le thalweg ne pouvant s'abaisser au-des-Sous du sommet du second barrage, l'épuisement des matières Solides s'est manifesté par l'établissement de profils en long de moins en moins inclinés, passant toujours par ce point fixe d'aval; une chute s'est formée au barrage d'amont. L'action des digues au-dessous du second barrage a également amené une chute à celui-ci, mais le détail du phénomène dépend des conditions du lit à la suite de l'endiguement.

Lorsqu'enfin la pente kilométrique a été réduite à 0",25, un équilibre mobile analogue à l'ancien s'est établi, avec des profondeurs devenues plus grandes et des vitesses moindres. Ce n'est pas seulement dans le profil longitudinal des eaux qu'il existe des chutes à l'emplacement des barrages; il y en a aussi dans le profil du thalweg.

La figure ci-contre donne une idée claire des conséquences nécessaires d'un endiguement bien fait et des barrages de soutènement du lit, lorsque ces barrages sont surmontés d'appareils mobiles. Le profil à 0,45 par kilomètre représente la ligne passant par les sommets de l'ancien thalweg; on voit que, à défaut de la réduction de pente produite par l'endiguement, il aurait fallu des appareils mobiles beaucoup plus élevés, ou pour mieux dire des barrages beaucoup plus rapprochés, puisqu'il n'y a pas de motif pour qu'on crée des retenues moins hautes après l'abaissement de la pente à 0,25.

La hauteur des retenues est limitée par celle des berges; par

totale avant l'endiguement, et celui-ci a réduit la chute totale à 0,25 × 6 = 1,50. Soit 1,20 d'abaissement de l'étiage au droit de l'embanchure de l'affluent et dans le dernier bief de celui-ci (avant la construction de la regue de la Alulatière). — Les 0,45 et 0,25 de pentes kilomotrope exactement à la surface liquide, et approximation de l'ababase.



#### RIVIÈRES A FOND DE SABLE

528

conséquent c'est bien à l'augmentation du nombre des biefs qu'aboutirait le non endiguement.

Mais il y a plus : la canalisation sans l'endiguement ne produirait pas d'une manière stable les effets désirés, parce que les désordres dans le lit seraient beaucoup plus fréquents à la suite des grandes crues, alors que le relèvement des eaux pendant les débits moyens enlèverait à ceux-ci le pouvoir de rétablir l'ordre dans le chenal.

De même, dans une rivière à grands débits solides, l'endiguement ne permet pas de se passer de la canalisation; les beaux résultats auxquels est arrivé M. Fargue, sur une certaine longueur de la partie basse de la Garonne (Annales de 1882), ont démontré qu'on peut obtenir des profondeurs stables dans les parties d'une rivière à fond mobile qu'on borde de rives bien tracées; mais la pente de la Garonne s'est accrue en amont des travaux dont il s'agit. L'écluse d'embouchure du canal latéral, qui correspond à la pente raidie en amont, n'est plus noyée que de 1<sup>m</sup>,25 (au lieu de 2 mètres) lorsque le fleuve est à l'étiage. Il y a là un phénomène d'appel sur le lit d'amont, auquel on ne pourrait mettre fin dans de bonnes conditions que par l'établissement d'un barrage.

La réunion des deux procédés : l'endiguement, la canalisation (barrages et écluses), est donc indispensable dans une rivière qui charrie beaucoup de sable ou de gravier.

ÉTAT INITIAL APRÈS L'ENDIGUEMENT.—Cet état initial ne peut être que très désordonné si l'on n'opère pas de dragages, car les digues coupent l'ancien chenal sur un nombre de points plus ou moins considérable. On fait donc des dragages de premier établissement, après quoi les courants achèvent d'approprier le lit aux nouvelles conditions des rives; de la sorte on peut obtenir des résultats d'une certaine importance, si l'endiguement est très bien fait, avant que la diminution des pentes n'oblige à adopter d'autres mesures. Nous avons fait dans les deux paragraphes précédents un essai d'étude sur cette première phase dans les rivières à fond de sable; mais nous n'insisterons dans la conclusion que sur les vues générales qui ressortent de l'ensemble de notre travail.

Conclusion. — On a maintenant la démonstration, par les faits, des conséquences suivantes des endiguements bien tracés, le long du lit mineur d'une rivière à grands débits solides :

4º L'augmentation de la profondeur;

2º La diminution de la pente.

Ces travaux ont indirectement démontré, par leur seconde conséquence, la nécessité de transformer le lit des rivières à fond mobile en une série de marches inclinées\*, séparées par des barrages de soutènement rachetant des chutes brusques de ce lit.

Dans la Seine, rivière tranquille et à petit débit de sable, on se prépare entre Paris et Rouen à recéper les sommets du thalweg, partout où, dans l'intervalle de deux barrages, ils dépassent une altitude déterminée. Pour continuer notre comparaison, le thalweg représentera des marches accidentées, mais à sommets situés pour chacune dans un plan horizontal. Les eaux seront surhaussées à chaque contremarche, nous voulons dire à chaque barrage, par des appareils mobiles destinés à disparaître quand le débit de la rivière prendra beaucoup d'importance.

On est arrivé à l'échelonnement du lit de la Seine, quoique ce soit une rivière tranquille, parce que l'on a résolu de porter le mouillage à 3<sup>m</sup>,20 sans trop multiplier les écluses. Tant qu'on n'a prétendu qu'aux profondeurs ordinaires, les parties fixes des barrages n'avaient pour but que de porter les appareils mobiles et pouvaient être arasées au niveau du lit, sans qu'il y eût de changement brusque dans le thalweg de l'amont à l'aval de l'ouvrage; maintenant ces barrages fixes joueront un second rôle, car ils seront suivis d'une chute du fond de la rivière. Cette chute ne sera créée que par des dragages, car il n'est pas question d'endiguement, comme cela serait indispensable dans une rivière débitant de grands volumes de sable ou de gravier.

Nous pourrions obtenir dans nos autres grands fleuves, au moyen d'endiguements à largeurs bien graduées et de barrages de soutènement surmontés d'appareils mobiles, des profondeurs approchant de ce qu'on est à la veille d'avoir dans la Seine. Les vitesses seraient en mème temps très diminuées, ce qui faciliterait le développement de la navigation. La longueur des biefs s'amoindrirait beaucoup dans certaines sections; mais cependant elle pourrait être encore, dans la Loire, d'au moins 15 kilomètres en moyenne de Tours à Nantes.

Le côté faible de ces grandes entreprises consisterait dans la nécessité de faire disparaître les appareils mobiles pendant les crues un peu fortes, ce qui ramènerait les grandes vitesses. La question d'argent ne laisserait pas, d'ailleurs, d'être fort sérieuse.

<sup>\*</sup> Il s'agit ici de l'inclinaison générale de la ligne passant par les sommets du thalweg; le profil longitudinal de celui-ci sera encore accidenté dans chaque biel, mais beaucoup moins. — Les barrages seront les contremarches de l'escalier.



RIVIÈRES DE LA LOMBARDIE

530

# B. - Les rivières de la Lombardie

Par BAUMGARTEN, d'après Lombardini.

On a sur le Pô des renseignements précis remontant à une époque éloignée. Il peut être utile de voir ce que l'expérience de près de vingt siècles a appris aux Ingénieurs italiens, sur un fleuve qui a été l'objet de tant de controverses, de tant de recherches scientifiques, de tant d'observations et de travaux. Les détails qui suivent ont été donnés par Baumgarten, d'après Lombardini, dans les Annales de 1847.

I

# DESCRIPTION DU BASSIN HYDROGRAPHIQUE DU PO

Origine géologique de la plaine du Po. - Cette plaine est formée par un vaste dépôt d'alluvions provenant des détritus des roches des chaînes de montagnes, les Alpes et les Apennins. entre lesquelles elle s'étend; les fragments de roches qui constituent cette alluvion sont arrondis jusqu'à la plus grande profondeur à laquelle on a pu sonder; sur beaucoup de points ils ont été déposés par stratification régulière presque horizontale; sur d'autres ils sont déposés sans ordre, pele-mele, comme on le voit dans les coteaux de l'Adda et de l'Oglio, où l'on a fait des excavations pour extraire du gravier et du sable. Le volume des fragments est de plus en plus petit à mesure que l'on s'approche de la mer. La pente de la plaine est à peu près la même que celle des rivières qui la traversent, elle diminue de la même manière: seulement les lignes qui représenteraient ces deux pentes auraient une légère convergence là où les rivières sont sensiblement encaissées.

Fine Committee Actions

Circonstances qui ont déterminé la position actuelle du Pô. — Le Pô a dû établir son lit là où l'action opposée des affluents des Alpes et des Apennins venait se neutraliser : en supposant en effet qu'un affluent eût charrié des matériaux plus volumineux, plus lourds, les eaux du Pô auraient été plutôt détournées là, le cours de cet affluent se serait alors allongé, sa pente et sa vitesse auraient diminué, les matériaux charriés auraient été d'un volume plus faible et l'équilibre se serait rétabli.

Les matériaux charriés par les affluents ont la même grosseur que ceux sur lesquels le Pô coule à leur embouchure : ainsi en aval du Tessin les affluents des Alpes et des Apennins roulent successivement de menus graviers et du sable. La Trebbia seule fait exception à ce fait, et elle dépose des cailloux et du gros gravier dans le lit du Pô qui n'est formé dans cette partie que par de menus graviers et du sable : ces dépôts sont ensuite sillonnés, coupés et quelquefois même entraînés par les crues du Pô. Cette action doit tendre à éloigner le Pô de Plaisance et à allonger le cours de la Trebbia. Cependant aujourd'hui, comme il y a vingt siècles, le Pó coule toujours le long de la ville de Plaisance. Aussi M. Lombardini admet-il, pour expliquer cette anomalie, qu'il n'y a pas longtemps que la Trebbia entraine de gros cailloux jusque dans le Pô, et que cet effet fâcheux est dù uniquement au déboisement des montagnes d'où la Trebbia tire ses eaux.

Caractères distinctifs des affluents du Po. — Les affluents des Alpes qui traversent un lac, tels que le Tessin, l'Adda, l'Oglio et le Mincio, ont leur lit encaissé à une grande profondeur au-dessous de la plaine. Le lit des autres est au contraire presqu'au niveau de la plaine, et quelques-uns ne s'encaissent bien que dans le voisinage de leur embouchure dans les premiers. Ces différences tiennent uniquement à l'absence presque complète de matières tenues en suspension dans les rivières qui ont traversé un lac.



#### RIVIERES DE LA LOMBARDIE

20 mètres seulement près de Pavie : l'Adda a un encaissement de 30 mètres à Trezzo, de 9 à 10 mètres à Crotta d'Adda et de 5 à 6 metres à Spinadesco où il coulait autrefois; les rives de l'Oglio sont encore de 15 mètres à Soncino et de 5 à 6 mètres seulement à Calvatone au-dessus des crues.

Ces rivières encaissées attaquent successivement les rives à droite et à gauche, élargissent peu à peu la vallée et forment en meme temps, au moyen de dépôts successifs d'alluvions contemporaines, les regone ou plaines plus basses que leurs débordements qui ont quelquefois une largeur de quelques milles. Quelques-unes de ces vallées ont un niveau intermédiaire entre la plaine submersible et la haute plaine, et ont été formées sans doute par des alluvions de transition, avant que le lit ait été creusé à la profondeur qu'il a aujourd'hui.

On distingue encore les rivières en limpides et en troubles, et comme ces qualités varient par degrés, on en classe d'internédiaires que l'on nomme mixtes.

Les limpides sont: le Tessin qui, sorti du lac Majeur, descend au Pó sans recevoir d'affluent; l'Adda qui, après avoir reçu en route le Brembo et le Serio qui sont troubles, devient ensuite mixte: l'Oglio qui est plus limpide parce que deux de ses affluents le Cherio et le Chiese, sortant des lacs d'Endine et d'Idro, sont aussi limpides, et que le seul affluent qui soit trouble est le Melta.

M. Lombardini observe que la direction des afduents en amont du Tessin est normale au cours du Tessin, parce que les pentes transversales du bassin sont là bien plus fortes que la pente longitudinale. Les rivières alpines inférieures au Tessin, après avoir en aussi dans le principe une direction normale, s'infléchissent ensuite parallelement au cours du Pô en faisant avec lui un angle qui diminue d'autant plus que l'on s'approche de la mer. En mesurant la distance normale la plus courte entre le coude d'inflexion et le Po et la comparant avec la longueur jusqu'à l'embouchure, on trouve les rapports suivants : pour le Tessin de 100 à 114, le coude étant pris à Turbigo; pour l'Adda, de 100 à 175, coude pris à Villa-Pompeana; pour l'Oglio de 100 à 341, coude pris à Genivolta et de 100 à 450 si on le prendà Robecco; pour le Mincio de 100 à 201 en plaçant le coude à l'entrée du lac supérieur de Mantoue, et de 100 à 317 si l'on va à l'ancienne embouchure à Ostiglia. Cela s'explique parce que la pente transversale du bassin diminue de plus en plus, et que la

<sup>\*</sup> Le mille italien est de 1810 mètres environ.

pente longitudinale finit par l'emporter sur la première. En aval de l'embouchure du Mincio, le Tartaro et l'Adige, après avoir coulé normalement au Pô, finissent par lui être parallèles et ont même une embouchure propre dans l'Adriatique; la première ne communique plus au Pô que par des coupures artificielles\*.

Caractères distinctifs du Pô. — Le Pô, après avoir recueilli les fleuves limpides, prend les caractères d'un fleuve mixte; sa nature varie beaucoup dans l'étendue de son cours. En Piémont il roule sur de gros cailloux; ensuite et successivement sur du gros gravier, du gravier menu et du sable jusqu'au confluent de la Trebbia; puis sur du sable seulement qui devient de plus en plus fin, et enfin sur du limon.

Les hautes rives du Pó appelées piarde, formées par les alluvions de l'époque actuelle, s'élèvent en général jusqu'au niveau des débordements ordinaires; du Tessin à l'Oglio, elles sont formées de bancs alternatifs d'argile et de sable, dans lesquels celui-ci domine, et présentent peu de résistance à l'action des eaux; les matières du fond du lit, en général formées de menu gravier et de gros sable, sont facilement transportées et sont aussi facilement déposées au moindre ralentissement de vitesse; il en résulte un cours irrégulier, une grande largeur, et la formation d'îles nombreuses. En aval de l'Oglio, c'est l'argile qui prédomine dans les rives; dans le fond les matières sont plus fines, plus aisées à transporter, le creusement du lit est plus facile que la corrosion des rives; aussi le cours du fleuve est ici plus resserré, plus profond et moins variable.

A Turin le débit de ce fleuve est encore inférieur à celui de quelques-uns de ses affluents, mais en aval de la Dora-Baltea qui descend du Mont-Blanc, il prend un aspect plus imposant; vers l'embouchure de la Sesia qui est alimentée par les neiges du Mont-Rose, il commence à divaguer dans ses propres alluvions en formant une grande quantité d'îles; au-dessous de Valenza il se réunit en un seul lit qui est tortueux; en aval de l'embouchure du Tanaro, dont les eaux sont troubles, il divague de nouveau en formant des iles, et ne se réunit que près du Tessin en un seul lit qui, sauf les coudes de Saint-Cypriano, est presque rectiligne jusqu'à l'embouchure du Tidone; là il devient de nouveau tortueux jusqu'à l'Adda, par l'effet de gros galets

<sup>\*</sup> Cela tient sans doute aussi à ce que, surtout dans la partie inférieure, le bord de la plaine du Pô est toujours un peu plus élevé qu'à une certaine distance; la pente transversale devient là une contre-pente.



#### RIVIÈRES DE LA LOMBARDIE

531

transportés par la Trebbia; entre l'Adda et l'Oglio il divague une troisième fois dans ses propres alluvions avec des bras variables; plus bas les îles deviennent de plus en plus rares et petites, et les eaux se recueillent dans une section de plus en plus étroite et profonde jusqu'à la mer.

La pente n'est pas distribuée régulièrement; dans l'état ordinaire des eaux, elle est de 0<sup>m</sup>,50 à 0<sup>m</sup>,30 par kilomètre entre la Dora et le Tessin, de 0<sup>m</sup>,30 à 0<sup>m</sup>,25 entre le Tessin et l'Adda, de 0<sup>m</sup>,25 à 0<sup>m</sup>,45 entre l'Adda et l'Oglio; vers l'embouchure du Panaro, elle se réduit à 0<sup>m</sup>,11 et dans la partie inférieure de 0<sup>m</sup>,11 à 0<sup>m</sup>,06.

La plaine submersible commence à avoir une certaine largeur en aval de la Sesia seulement; sur la gauche elle est quelquefois interrompue pas les hautes plaines qui s'avancent en promontoire vers les berges, comme à Saint-Zenon vers l'Olona, à Castelnovo et Spinadesco vers l'Adda, et enfin à Crémone; plus bas la basse plaine n'est plus interrompue et elle se raccorde avec la haute plaine par une pente de plus en plus insensible.

Entre le Tessin et l'Oglio, le Pò à l'étiage a une largeur de 100 à 200 mètres, aux eaux ordinaires de 200 à 400 mètres, aux crues ordinaires entre les hautes berges ou piarde de 500 à 1.500 mètres, et dans les grands débordements, lorsque les petites digues ou golene sont couvertes, de 800 à 3.000 mètres. Dans la partie inférieure les eaux sont mieux contenues; la largeur en étiage varie de 100 à 200 mètres, dans l'état ordinaire de 180 à 300 mètres, en crue ordinaire de 300 à 800 mètres et dans les grandes crues de 300 à 1.500 mètres.

Entre le Tessin et l'Oglio, le Po n'est plus guéable, car en étiage les moindres profondeurs dans le thalweg sont de 1<sup>m</sup>,50 sur les maigres, et elles vont de 9 à 10 mètres contre les anses corrodées non défendues, et de 15 à 18 mètres si dans ces anses les eaux rencontrent un obstable par suite d'un ouvrage défensif. En aval de l'Oglio, la moindre profondeur en étiage sur les maigres est de 1<sup>m</sup>,80 dans le thalweg, elle va de 10 à 12 mètres dans les anses naturelles et jusqu'à 24 mètres dans les anses défendues par des travaux.

La pente plus ou moins forte, la quantité de matières en suspension et le degré de cohésion des alluvions sont autant de causes qui influent sur l'état du lit du fleuve. Ainsi en amont et en aval de l'embouchure d'un affluent dont les eaux sont troubles, le lit principal devient tortueux, et la pente diminue; c'est ce qui arrive au Pô pour le Tanaro et la Trebbia, à l'Adda pour le Serio, et à l'Oglio pour la Mella. Les sinuosités se déve-

More V

loppent sur une zone qui égale en largeur vingt fois celle du lit de la rivière .

Un affluent trouble qui se jette dans une rivière charriant moins que lui, en exhausse le fond et y forme une espèce de banc, lequel diminue sa pente en amont et y fait prévaloir, sur le mouvement direct des eaux dans le sens de son axe, le mouvement oblique aux rives, contre lesquelles il y a alors une action exercée qui rend son cours tortueux. En aval la pente est accrue et le mouvement direct devrait prédominer sur le mouvement oblique et produire un effet inverse; mais la masse plus considérable des dépôts laissés par l'affluent, à proportion de l'élévation des eaux, oppose un obstacle au mouvement direct; lorsqu'il est assez fort pour laisser prédominer le mouvement oblique, il en résulte encore un cours sinueux.

Dans les parties où la pente est plus forte et où il n'y a pas de dépôts, le mouvement direct l'emporte et le cours est rectiligne; mais lorsqu'en même temps le fleuve entraîne des matières pesantes, il se forme alors dans son lit des bancs qui donnent lieu à un mouvement en cascade et à la formation de nombreux bras, qui conservent de longues directions rectilignes, comme on le voit sur le Tessin, l'Adda et même quelquefois sur le Pô.

Les principaux changements dans le cours d'un fleuve viennent des corrosions des rives et des dépôts qui en sont la conséquence. L'action des eaux qui attaquent une rive tend à lui
donner une forme concave, et cette concavité est d'autant plus
prononcée que la violence du courant est plus forte; la direction
du filet principal et la consistance de la rive y ont aussi une
grande influence. A l'extrémité de l'anse concave corrodée, les
filets d'eau s'échappent suivant la tangente et vont frapper la
rive opposée, tandis que les matières enlevées se déposent dans
la partie inférieure; et ainsi de suite de ricochet en ricochet;
si une rive se corrode à pic, l'autre s'alluvionne sur une pente
douce, et lorsque les alluvions ont atteint la hauteur des eaux
ordinaires, elles se couvrent naturellement de végétation, surtout lorsque, déposées par des vitesses très petites, elles sont
formées par des matières argileuses.

Les sinuosités qui se forment ainsi augmentent de plus en plus, jusqu'à ce qu'un débordement se creusant un nouveau lit rétablisse un cours plus direct en détachant de la terre ferme

<sup>\*</sup> Cette règle est également applicable à la Garonne qui a un lit de 200 mètres et qui serpente dans une zone submersible de 4,000 mètres, entre Agen et la Béole.



## RIVIÈRES DE LA LOMBARDIE

536

d'anciennes alluvions qui deviennent alors des iles. Ces redressements spontanés que l'on nomme sauts (salti) sont fréquents, surtout lorsque les alluvions sont peu élevées; on peut ainsi avoir des raccourcissements de plusieurs milles: tel fut en 1777 le saut de Coltaro devant Gussola en amont de Casalmaggiore, qui détacha de la rive droite une surface de terre déjà mise en culture et abrégea le cours du Pô de 5.000 mètres sur un parcours total antérieur de 7.000 mètres; tels furent encore en 1807 et 1810 les deux sauts de Mezzanone entre Caselle-Landi et Castelnovo, à l'embouchure de l'Adda, qui ont raccourci le cours du fleuve, le premier de 5.000 mètres sur 7.000 mètres et le second de 7.000 mètres sur 9.000 mètres.

En amont d'Isola Pescaroli les corrosions ont été si fortes sur la rive droite parmesane, que de 1825 à 1829, dans un laps de temps de quatre ans, elles ont enlevé une largeur de 750 mètres de terres labourées et de vignes. Le débordement de septembre 1829, en coupant les alluvions de la rive opposée crémonaise, mit fin à ces corrosions.

Les corrosions ont des alternances de montée et de descente qui dépendent des changements survenus dans les parties supérieures et du degré de consistance de la rive attaquée; mais après un certain nombre d'années le mouvement de descente prédomine toujours : on remarque surtout cela entre l'Adda et l'Oglio, près de Crémone; le long d'une même rive, la corrosion supérieure prend la place de l'inférieure après trente ans environ. La connaissance de ces déplacements, tant dans le sens transversal que de l'amont vers l'aval, est importante pour déterminer l'assiette la plus convenable des digues.

Loi que suivent les hauteurs des crues du Pô. — A mesure que le nombre des affluents augmente et que la pente diminue, la hauteur des crues au-dessus de l'étiage doit augmenter; d'un autre côté, comme à l'embouchure à la mer la crue est nulle, il y a nécessairement un point intermédiaire entre l'origine du fleuve et son embouchure où la crue est un maximum; le tableau suivant indique la loi que suit la hauteur des crues dans ce siècle.

On y voit que de Crémone à Ostiglia la crue va toujours en augmentant jusqu'à atteindre en novembre 1839 une surélévation de 4<sup>m</sup>,11 au-dessus des eaux à Monticelli; au delà d'Ostiglia elle diminue jusqu'à la mer.

Cette loi offre une anomalie à Plaisance où les eaux s'élèvent de 1<sup>m</sup>,48 de plus qu'à Crémone; et M. Lombardini l'attribue au

المنافية والمنافية والمنافية والمنافية والمنافية والمنافية

régime particulier de la Trebbia dont nous avons déjà parlé. Les eaux des affluents qui viennent des Apennins, à cause du peu d'étendue de leurs cours et de leur nature torrentielle, précèdent en général la crue du Pô, particulièrement formée par les grandes rivières qui descendent des Alpes et dont le cours est ralenti par la traversée des grands lacs.

INDICATION  des  Hydronètres,	Distances en kilomètres.	180f, 13 novembre.	12 décembre.	18 sept., 20 mai.	1812, 15 octobre,	1823, 5 octobre.	13 mai, 28 sept.	1839, 20 octobre.	6 novembre.	1841, 31 octobre.
Casal-Monférato, Valenza. Mezzano-Corti. Monticelli. Plaisance. Grémone Isola-Pescaroli Lasalmaggiore Dosolo. Borgoforie. Saint-Benedetto. Ostiglia. Scrmide. Quatrelle Ponte-Lagoscuro. Poicsella. Grespino, Gavanella du Pô. Embouchure de Scanarello.	17 5 22.6 19.4 20.0 15 2 20 3 16.2 12.4 27 5	m.  7 01 7 59 5 98 6 28 6 50 8 24 8 42 7 90 8 90 9 9	m.  2 2 3 3 4 7.82 8.22 8.20 8.91 8.23 8.36 7.94 2 2 2 2	m- 4.00 9.6.75 6.75 8.88 8.7.76 8.45 9.02 8.40 8.35 8.15 7.48 8	m. 6 69 8 6 03 5 82 8 22 8 22 8 50 9 47 8 56 8 73 8 47 7 7 38 5 45 8	m	m. 4.00 5.24 5.67 6.28 8.56 9.06 8.43 8.56 8.43 8.56 7.94 7.50 5.61	m. 4.80 6.80 6.90 7.30 8.06 5.69 5.69 5.69 5.69 5.8.37 9.09 8.45 8.31 8.31 8.31 8.31 8.31 8.31 8.31	m. * 6.40 7.04 5.69 5.64 6.10 7.77 7.78 8.21 8.29 8.04 8.30 8.25 8.25 8.761 5.67 8	m 6 66 7 50 5 60 5 75 6 45 7 97 7 8 39 9 04 8 36 8 40 8 .09 5 7 48 5 63 8

Les matières transportées par les rivières apennines et particulièrement celles qui le sont par la Trebbia, qui contrairement aux autres affluents charrie des matières plus volumineuses que celles du Pò, sont aussi entrainées avec plus de force et une plus grande pente dans le lit de ce fleuve où les eaux ne sont pas encore en crue; elles se déposent alors aux embouchures, y forment des bancs, qui opposent un obstacle aux crues postérieures du Pò, dont les eaux sont ainsi refluées à une assez grande distance, jusqu'à ce que ce refoulement même des eaux leur ait donné assez de force pour entrainer ces bancs et les porter ailleurs. Ainsi à égal débit, à l'embouchure des affluents, le fond du Pò et la hauteur de la surface des eaux oscille toujours entre certaines limites, qui dépendent du plus ou moins grand amas de matières déposées par le tributaire, et du plus ou moins grand volume d'eau du Pô qui les entraine.

On peut conclure cela de ce qui va suivre : après une série d'observations faites depuis la fin de 1823 jusqu'au commencement de 1825 sur des échelles provisoires Isola-Pescaroli et Casalmaggiore, on placa dans ces trois lieux des échelles définitives correspondant bien entre elles : mais au bout d'un certain temps on s'aperçut, tant en eaux hautes qu'en eaux basses, que le plan d'eau à Casalmaggiore s'était relevant de 0°,40, ce qui indiquait un changement dans le fond du fleuve changement qui, d'après M. Lombardini, tient au fait suivant jusqu'au 25 décembre 1825, le Taro avait prolongé-son embor chure au milieu des dépôts qu'il avait formés, dans une dire tion opposée à celle du Pô; mais la crue de ce jour coupa alluvions, et plaça la nouvelle embouchure à 1.000 mètres aval dans une direction moins contraire à celle du fleuve; il dù en résulter un abaissement du plan d'eau à Isola-Pescaro/i et un exhaussement à Casalmaggiore, où les matières entraînées ont pu en partie être déposées : en comparant les observations hydrométriques faites vis-à-vis de l'embouchure du Taro près de Motta-Baluffi avant et après 1825 à celles d'Isola-Pescaroli et de Casalmaggiore, on voit qu'il y a eu dans le plan d'eau vis-à-vis le Taro un abaissement de 0",40 par rapport à Isola-Pescaroli et de 0m,80 par rapport à Casalmaggiore.

La quantité et la grosseur des matériaux qui sont tantôt déposés par la Trebbia, tantôt entraînés par les eaux du Pô, peut expliquer aussi la grande différence observée entre les plus hautes et les plus basses eaux.

Dans les parties supérieures du Pô les crues ne durent que trois à quatre jours, dans la partie inférieure elles durent de quinze à vingt jours; celle de 1839 est restée soixante-quinze jours au-dessus du signal de garde de Ponte-Lagoscuro.

La hauteur des crues ordinaires est égale aux 2/3 des plus grandes.

Les plus grandes crues du xvm siècle ont été à l'échelle d Ponte-Lagoscuro :

Le	Le	Le	Le	Le	Le	Le	Le
8 nov.	4 nov.	9 nov.	6 mai	23 oct.	22 sept.	18 juin.	14 jui
1705.	1719.	1729.	1733.	1755.	1772.	1777.	179!
mèt. De 6.82	mèt. De 6.84	mět. De 7.13	met De 7.27	met. De 7.44	met. De 7.63	m <sup>At</sup> . De 7.77	

On voit que la hauteur des crues a toujours augmenté, doit l'attribuer surtout au perfectionnement du système g des digues. Dans le siècle passé les digues étaient déprin mal conservées, les grandes crues étaient toujours act gnées de ruptures, qui abaissaient le plan des eaux. En comparant les crues de 1801 et de 1807 qui ont été accompagnées de ruptures entre Dosolo et Saint-Benedetto à celle du 8 novembre 1839, on voit que sans les ruptures ces deux crues se seraient élevées à Saint-Benedetto de 1<sup>m</sup>,20 et de 0<sup>m</sup>,72 de plus qu'elles ne l'ont fait.

Etat variable des eaux du Pô, suivant les différentes saisons de l'année. — Les deux tableaux suivants sont le résultat des observations faites pendant une série de douze ans, du 1<sup>eq</sup> janvier 1825 au 31 décembre 1836, à l'échelle de Casalmaggiore dont le zéro répond à l'étiage ordinaire, et qui a marqué + 5<sup>eq</sup>,60 à la crue de 1801, et 1 mètre à l'étiage de 1817. Les eaux moyennes y sont à 2<sup>eq</sup>,50, les crues ordinaires à 3<sup>eq</sup>,40, et la garde des digues est surveillée attentivement à 4<sup>eq</sup>,60.

Durée moyenne des différents états du fleuve pendant une année :

HAUTEURS	De 0= 50 a 0= 00	De 0= 00	De 0 50	De 1m 00 à 1m 50	De 1 = 50	De 2= 00 a 2= 50	De 2= 50 a 3= 00	De 3m 00 à 3m 50	De 3= 50 à 4= 00	De 4m 00 à 4= 50	De 4= 50 a 5= 00	De 5= 00 à 5= 38
Nombre de jours.	j.	j.	j.	j.	j.	j.	j.	j	j.	j.	j.	j.
	21.1	65,3	85.5	67.0	48.3	36,8	17.5	12:4	5,7	3.8	1.6	0,3

L'état le plus constant est entre 0m,75 et 0m,85.

MOIS.		ur de la surface di rapportée au zéro.	
	Minima.	Maxima.	Moyenne
Janvier Février Mars Avril Juin Juilet Août Septembre Octobre Novembre Décembre	met 0.40 - 0.40 - 0.40 - 0.50 - 0.10 - 0.20 + 0.30 - 0.20 - 0.40 - 0.30	mèt. 3.10 3.40 4.60 4.20 5.38 4.90 3.40 3.80 4.70 4.80 3.40 3.90	met. 0.485 0.627 1.080 1.034 2.000 1.950 4.242 0.929 1.727 1.905 1.080 0.623

Elévation des différentes parties de la plaine du Po au-dessus de l'étiage. — Je ne crois pas pouvoir mieux faire pour traiter cette question que de transcrire textuellement un passage d'une lettre que M. Lombardini eut l'oblige m'adresser le 31 octobre 1844 :

· Vous me demandez des profils pour déterminer les r des niveaux du Pô et des terrains environnants, et dé par là que les déclarations de Prony et Cuvier sont, point, exagérées. Voilà les renseignements que sur c particulier je puis vous donner, et que j'ai tâché de re aux sources les plus sûres.

· J'observe d'abord qu'en général, comme je l'ai fait quer dans mes mémoires, les campagnes sont plus dépr quelque distance du Pô qu'elles ne le sont près de ses h que je ne parle que de celles qui sont défendues par les ou levées, et point des golene qui en général sont plus que les campagnes intérieures. Les hauteurs, je les rap l'étiage du Pô.

« A la gauche, de Crémone à Casalmaggiore, can latérales de 3m,50 à 4m,50; celles plus éloignées de 5 à mêtres, de 3 à 4 mêtres. Les crues ne s'élèvent que de 6

environ.

 De Casalmaggiore à l'embouchure de l'Oglio, can latérales de 4m,50 à 5 mètres; celles plus éloignées de + 4 mètres. Élévation des crues de 6m,60 à 8m,20.

· De l'embouchure de l'Oglio à celle du Mincio, can latérales de 4 à 5 mètres; celles plus éloignées de 3 à 4

Élévation des crues de 8m,30 à 8m,40.

· De l'embouchure du Mincio à la Fossa d'Ostiglia, can latérales de 4 à 6 mètres; celles plus éloignées de 3 à 4 Élévation des crues de 8m,80 à 9m,50, qui est le maximo

« Ici commence la dépression plus prononcée du t compris entre l'Adige et le Pô, au fond duquel coule le qui prend ensuite le nom de Canal Bianco; celui-ci com avec le Pô par la Fossa et la Fossetta d'Ostiglia, par Polesella et par la Cavanella du Pô. Au point où la Foss glia se partage en deux branches, à la Torre Rotta, se l'une vers Tartaro et avec l'autre vers le Pô, son fond de 1m.71 au-dessus de l'étiage de celui-ci, et les terra ronnants peuvent être estimés de 0m,50 à 1 mêtre plu encore, c'est-à-dire de 3m,10 à 4m,70.

 Au bastion Sainte-Michele où la Fossetta débouche Tartaro avec une écluse de navigation, le fond de co trouve au même niveau que l'étiage du Pô sur la ligne à son cours, et les terrains environnants, c'est-à-dire le véronésiennes les plus basses, qui sont les seuls terrai

cageux de ce côté-là, se trouvent encore de 1m,50 à 2 mètres plus élevés que ce niveau.

Je n'ai point de données aussi positives pour la continuation de ce territoire désigné sous le nom de Polésine de Rovigo, qui est tout cultivé jusqu'aux lagunes d'Adria; mais je sais qu'au point où le canal de la Polesella se détache du canal Bianco, celui-ci est traversé en aval par une écluse qu'on appelle du Bosaro qui reste fermée autant que les eaux supérieures peuvent se décharger dans le Pô; mais aussitôt que celui-ci monte à 4<sup>m</sup>,90 au-dessus de l'étiage, on ferme l'écluse d'embouchure de la Polesella et on ouvre l'autre; alors ses eaux s'écoulent par le canal Bianco jusqu'à la mer. Les terrains environnants s'élèvent de 1 à 2 mêtres au-dessous de cette limite, et par là se trouvent encore de 2<sup>m</sup>,50 à 4 mètres plus élevés que l'étiage du Pô.

A la droite du fleuve, jusqu'à l'embouchure du Panaro, les lerrains les plus bas sont ceux où coulent les canaux de Parmisiana et de Burana, et où se trouvaient les anciens marais qu'on appelait Bondeno; maintenant ces marais sont en général cultivés, à l'exception des parties les plus basses, qui cependant sont encore de 1m,50 à 3m,50 plus élevées que l'étiage du Pô. Quant au territoire intermédiaire, il s'élève de 3m,50 à 5m,50,

toujours sur les lignes normales au cours du fleuve.

Pour les territoires inférieurs, dans le Ferrarais, on peut dire la même chose, excepté pour les marais, valli di Commachio, qui ont toujours été dans la condition actuelle. Pour la ville de Ferrare, on m'a promis les résultats d'un nivellement que je vous remettrai aussitôt qu'ils me parviendront.

« Vous conclurez donc de tout cela que c'est une idée bien L'range que celle qui s'est répandue dans tous les ouvrages de Séologie et de géographie, c'est-à-dire que tous ces territoires

Se trouvent plus bas que le lit du Pô :

\* Je ne pourrai vous en dire autant pour l'Adige qui réellement en quelques endroits, à ce qu'on dit, a rehaussé son lit au niveau des campagnes latérales; mais jusqu'à présent je n'ai là-dessus aucune donnée positive \*. »

Lagunes de l'Adriatique et dunes qui les séparent de la mer. — Le vent dominant dans la mer Adriatique est celui

<sup>\*</sup> La Brenta aussi a une partie de son fond au-dessus de la plaine environtante, d'après ce que m'a affirmé M. Paléocapa, ingénieur en chef à Venise, dont j'invoque également le témoignage pour fortifier les assertions de M. Lombardini relativement au Pô.

du midi, mais celui de l'est est le plus fort et le plus violent. Ces vents, en soulevant et agitant la mer, lui font exercer sur les matières déposées par les fleuves de la Lombardie, an large de leur embouchure, une action contraire qui tend à les rebrousser. Ces mouvements combinés avec le courant constant de la mer de la droite vers la gauche, tiennent les matières entrainées par les fleuves amassées à une assez grande distance même de leur embouchure. La violence des ondes de la mer croit avec la profondeur, mais ne se fait sentir que jusqu'à une certaine distance au-dessous de la surface : il y a donc un point où l'action de la mer pour soulever les matières du fond est la plus grande, et un autre plus près du rivage où elle est la plus petite et où les dépôts se font le mieux. Il se forme alors un banc ou une dune qui augmente successivement et s'élève même au-dessus de la surface de l'eau, par l'accumulation des matières mises en mouvement et transportées par l'action seule des vents, comme dans nos dunes de la Gascogne.

Les dunes appelées montoni se forment sur le bord de la terre ferme et même souvent à une assez grande distance au large, et le bras de mer interposé s'appelle lagune; telles sont les lagunes de Venise qui finissent à Choggia, et les vallons (valli) de Commachio entre les ports de Volano et de Primaro; telles étaient aussi autrefois les lagunes intermédiaires au fond desquelles s'élevait l'antique cité d'Adria, qui pour cela était appelée la ville des Sept-Mers; on voit encore la trace des dunes qui séparaient ces dernières lagunes de la mer, elles sont aujour-d'hui tout à fait dans l'intérieur des terres, s'étendent presqu'en ligne droite de Brandolo à Mesola et se parlagent en trois branches à la rencontre du Pó-Grande. La régularité de la ligne suivant laquelle ces dunes sont disposées prouve que leur formation dépend d'une loi générale, qui règle le mouvement de la mer et des vents régnant dans ce golfe.

II

## ENDIGUEMENT DU PO

Emplacement et longueur des maitresses digues; digues de golène. — Les fleuves limpides ont, comme nots l'avons vu, en serpentant dans les hautes plaines, formé des plaines basses ou regone, et leur cours tortueux baigne encore par intervalle des caps ou promontoires formés par ces hautes plaines; entre deux caps d'une même rive, il y a ainsi différentes plaines basses, isolées les unes des autres, et que l'on a pu défendre contre les débordements par des digues isolées qui vont d'un cap à un autre. La ville de Crémone s'élève ainsi sur le dernier cap qui touche le Pô sur la rive gauche; et, à 3 kilomètres en aval près de Garitingo, où les coteaux de la haute plaine s'éloignent du fleuve, commence la grande maîtresse digue qui accompagne le Pô jusqu'à la mer, et qui n'est interrompue que par les digues de l'Oglio, du Mincio, et par les canaux qui unissent le Pô au Tartaro et au Canal-Blanc. Sur la rive droite, la grande digue qui va à la mer commence entre Crémone et Plaisance, vers l'ancienne embouchure du torrent de Nure.

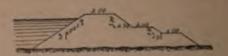
Les villes de Revere, Sermide, Ostiglia, Governolo, Borgoforte, Scorzarolo et Dosolo sont situées sur des tertres que l'on suppose artificiels, et qui non seulement dominent la plaine environnante, mais encore toutes les crues jusqu'à celle de 1801; depuis on a été obligé d'endiguer ces villes pour les mettre à l'abri des crues, qui s'élèvent plus haut qu'auparavant par suite d'un système plus complet d'endiguement.

L'espace qui s'étend entre les maîtresses digues et le fleuve est appelé golène, et on distingue les digues situées sur le bord même du Pô, qu'on appelle froldi, de celles qui sont à une certaine distance en arrière des golènes; sur la rive gauche, depuis la côte de Saint-Zénon dans la province de Pavie jusqu'aux provinces vénitiennes, il y a 18.145 mètres de maîtresses digues en froldi et 164.720 mètres avec golènes; et sur la rive droite, depuis l'état de Parme jusqu'au Panaro, il y a 18.317 mètres en froldi et 74.363 mètres avec golènes.

Les digues du Tessin sont de peu d'importance; celles du Lambro et de l'Adda sont plus considérables quoiqu'elles soient interrompues souvent par les promontoires des hautes plaines; mais l'Oglio, le Mincio et la Secchia ont des digues longues, hautes et continues.

De Crémone jusqu'à Martignana près Casalmaggiore, à cause de la nature divaguante du Pô, les maîtresses digues sont à des distances considérables (de 4 à 6 kilomètres) des rives; mais en aval, jusqu'à l'embouchure de l'Oglio, ces distances diminuent de moitié; tout ce vaste espace entre les digues est al fleuve qui accumule alternativement de nouvell dévore les anciennes. Les sables nus sont bi

plantations auxquelles l'art contribue; ils s'exhaussent ains successivement, et lorsqu'ils sont à la hauteur des crues ordinaires on les défend au moyen de digues de golène qui se ratachent aux maîtresses digues ou à d'autres digues secondaires;



ces espaces défendus ainsi ont quelquefois jusqu'à 7 kilomètres de largeur. En aval de l'Oglio le cours du Pô est plus régulier el l'intervalle entre les digues se réduit quelquefois à 300 mètres.

Outre ces digues de frontière il y en a d'autres qui soil internes qu'on appelle digues d'enceinte transversales ou contredigues, et qui servent à circonscrire le mal en cas de ruplure des maitresses digues. On utilise à cet effet souvent les digues qui accompagnent les canaux d'écoulement.

Les digues en froldo ont de 7 à 8 mètres de largeur au couronnement, un talus de 3 à 2 sur 1 vers le fleuve, et de 2 sur 1 vers la plaine, avec des banquettes qui ont jusqu'à 6 mètres de largeur. Les digues dans l'intérieur des terres ont une largeur de 6 mètres au couronnement, et de chaque côté un talus de 3 sur 2 avec une banquette vers la plaine intérieure, si la hauteur dépasse 4 mètres.

Defense des digues. - Le couronnement des digues, qui est couvert de sable et souvent de gravier, sert de chemin public. Le gazon dont les talus sont couverts suffit pour les préserver contre les courants qui ne sont pas trop forts el lorsque les vents n'y produisent pas de rides appelées balladizza; dans le cas contraire on fait un revêtement de vines verts, qui en peu de temps forment une végétation touffue. C revêtement, qui descend jusqu'au niveau des eaux ordinaires, se fait avec des branches de saule de 0m,05 de long, planté dans le talus à une profondeur de 0m,40 et à 0m,50 les unes d autres, reliées du haut en bas avec des clayons verts d'oil entrelacés comme le bord d'un panier et couvertes ensuite d'un légère couche de terre végétale. Pour rendre le revêtement plus résistant encore, on prend de longues fascines dites fassole, rées avec des harts à des distances de 0m,15, et fixées au lahis avec des piquets de même bois. Le plus souvent on mel un couche de grosses fascines formées par une botte de salle verts longue de 4 mètres à 4m,75 et d'un diamètre de (5,65)

0m,52, que l'on remplit avec des matières pesantes et que l'on serre au moyen de harts de 0m,45 en 0m,45. Les plus volumineux qui servent aux travaux sous l'eau cubent un mètre et se remplissent avec l'argile très tenace du bas Mantouan, ou avec de l'argile et des débris de briques, ou bien avec des cailloux de la Trebbia et du Tessin mêlés à un peu d'argile, comme dans les provinces de Pavie et de Lodi.

Les fascines sont lancées ou, comme on dit, noyées de dessus un bateau à pont; on en relie ainsi 4 à 5 en manière de radeau, en les enfilant toutes ensemble au moyen de cinq piquets. Lorsqu'il ne s'agit que de revêtir les talus, on emploie des fascines

d'un demi-mètre cube seulement remplies de terre.

Dans le Mantouan, une fascine d'un mètre cube remplie de lerre coûte 3 fr. 91, et remplie d'un mélange de terres et de fragments de briques et de pierres, 5 fr. 11; celles de 0<sup>m.c.</sup>,75 coûtent 3 fr. 22 et 4 fr. 18, et celles de 0<sup>m.c.</sup>,50 reviennent à 2 fr. 42 et 3 fr., suivant qu'il n'y a que de la terre ou qu'il y a aussi des fragments de briques. Le revêtement avec des piquets et des vimes coûte 0 fr. 64 par mètre carré, et avec des fascines 1 fr. 35.

Lorsqu'une digue est menacée de corrosion, on en construit, la plupart du temps, en arrière une autre, que l'on appelle coronella; mais souvent, lorsqu'il y a en arrière des habitations, on arrête le mal au moyen de travaux manuels, qui consistent en moles saillants que l'on appelle épis (pennelli), et que l'on place à des intervalles déterminés, ou bien en talus artificiels continus interrompus qui revêtent la rive corrodée; les uns et les autres se font avec des fascines.

Quand une corrosion se manifeste pendant plusieurs années, il convient de revêtir d'un talus artificiel l'intervalle compris entre deux épis consécutifs. Le système des épis présente une défense plus coûteuse et moins sûre, aussi leur préfère-t-on les laus artificiels continus, qui sont d'un grand effet utile dans quelque direction que viennent les courants, et ne provoquent pas des affouillements profonds; la construction d'un épi au contraire dépend de la direction du courant, et lorsque celui-ci vient à changer, il peut quelquefois être plus nuisible qu'utile par les remous et les tourbillons qu'il occasionne, et la plupart du temps inutile, si l'effort des eaux vient à s'exercer sur un autre point. Si la corrosion n'est que passagère, et si en même temps le fil de l'eau est un peu oblique à la berge, il suffit d'avoir des portions non continues de talus artificiels.

Rupture des digues. - La rupture des digues se fait par corrosion, par la surélévation des crues, par l'affaissement des côtés ou par siphonnement. La première, celle par corrosion, est la plus terrible en temps de crue, par l'extrême difficulté qu'il y a de l'arrêter. On prévient la seconde au moyen d'un exhaussement de digues appelé sopha soglio que l'on fait en prenant des terres de la sommité interne de la digue mème, lorsque les sources empêchent d'en prendre dans la plaine La troisième vient du ramollissement des terres, surtout à la base, quand une crue dure longtemps; il faut alors les renforcer et les maintenir avec des étais et appuis solides. Enfin, la rupture par siphonnement provient le plus souvent des trous de taupes; quand on ne peut y remédier vers le fleuve, on construit par derrière, vers la plaine, une petite digue, reliée partout à la grande; l'eau qui monte entre les deux presse sur le canal d'infiltration et ralentit l'action du siphonnement,

Lors d'une rupture, l'ouverture de la brèche dépend en partie de la hauteur de la crue au-dessus de la plaine, et aussi de l'étendue sur laquelle les eaux font irruption, et qui exige plus ou moins de temps pour être remplie. La brêche d'une digue, précédée par une golène, ne s'élargit que par l'action latérale des eaux qui entrent dans la plaine sur les deux tronçons; mais celle d'une digue en froldo s'agrandit par la corrosion même que le fleuve exerce sur la berge qui supporte la digue, et peus devenir ainsi bien plus considérable. Les deux ruptures en froldo, survenues en 1801 à Scorzarolo et à Camillina, entre l'Oglio et le Mincio, eurent 500 et 900 mètres d'ouverture. Celle= qui eurent lieu dans des digues en froldo, en 1839, à Bonizzet Castel-Trivellino, eurent 750 et 300 mètres. Mais les deu ruptures de 1807, à Serravalle, ne furent que de 250 mètres de 80 mètres, à cause du bon effet des golènes qui les précessions daient.

Si une digue en golène se rompt en même temps que la mastresse digue contre laquelle elle est appuyée, la brèche devie de moindre parce que l'action de l'eau se divise; c'est ainsi qu'en 1801 la brèche qui s'ouvrit entre Guastalla et Luzzara n'eut que 70 mètres d'ouverture, et qu'en 1810 la rupture de Salicella, aval du Mincio, fut restreinte à une largeur de 80 mètres.

Quelquefois cependant la rupture des digues de golène unel les maîtresses digues dans une position plus dangereuse; c'est lorsqu'elle se fait en amont, et que la longueur des digues de golène s'étend beaucoup vers l'aval; les eaux qui s'introduisent alors dans cette enceinte s'élèvent à la partie inférieure à la

même hauteur qu'en amont, où a eu lieu la rupture, et peuvent, dans certains cas, surmonter les maîtresses digues. Ainsi, dans la crue presque ordinaire du 9 octobre 1839, la digue de golène de Sylva, qui a 5 kilomètres de long, se rompit en amont, et dans la partie inférieure, près de Motta-Baluffi, les eaux s'élevèrent à une hauteur de 1<sup>m</sup>,20 à 1<sup>m</sup>,30 au-dessus du niveau correspondant dans les eaux courantes du fleuve; il fallut rehausser la maîtresse digue par des sopra soglia, quoiqu'elle fût à 0<sup>m</sup>,20 au-dessus des plus grandes crues, et couper la partie aval de la digue de golène.

C'est pour cela que l'on prescrit de tenir les digues de golène de 1<sup>m</sup>,50 plus basses que les digues principales, et que, au besoin, on doit les couper pour donner un libre écoulement aux eaux qui y sont enfermées; mais peut-être vaudrait-il mieux donner à ces digues, qui protègent un vaste territoire, une hauteur plus grande, mais avec une pente plus forte que celle des eaux du fleuve; alors les ruptures arriveraient toujours dans la partie inférieure et seraient sans danger pour les maitresses digues.

La rupture de Bonnizzo, du 12 novembre 1839, donna lieu à un abaissement dans le plan des eaux de 1<sup>m</sup>,70; mais la surface sur laquelle les eaux firent irruption avait 469 kilomètres carrés, et une hauteur de 6 à 7 mètres dans la partie inférieure.

Canaux d'écoulement. — Après avoir repoussé des terrains bas, au moyen de digues, les irruptions des fleuves, il fallait encore empêcher les eaux qui viennent des terrains supérieurs d'y rester stagnantes. Pour cela, il était nécessaire de leur ouvrir une voie vers la partie inférieure du fleuve, soit par quelque excavation naturelle, soit par quelque conduit creusé artificiellement, d'autant plus que les irrigations plus abondantes répandent sur la plaine beaucoup d'eau dont le cours porte dommage aux territoires inférieurs. Dans les récentes alluvions des fleuves cela devenait plus difficile, non seulement à cause de leur faible pente, mais encore parce que leur niveau est plus déprimé dans la zone qui est à une plus grande distance des bords du fleuve, que sur le bord même qui est toujours plus élevé. En général, les canaux d'écoulement ont précédé ceux d'irrigation.

Les écoulements naturels se distinguent à première vue des écoulements artificiels, parce qu'ils ont un cours serpentant, tandis que les autres sont droits. Quand les canaux parcourent une plaine élevée au-dessus des crues du fleuve dans lequel ils se déchargent, ils sont le plus souvent encaissés et ont une bouche libre. Mais si le territoire environnant est bas, submersible et enceint de digues, il est nécessaire, pour accélérer le débouché des eaux, de mettre en outre en usage divers moyens artificiels. Si le canal a des eaux abondantes descendant d'un terrain élevé, de sorte qu'elles puissent toujours surpasser le niveau du fleuve dans la crue, on lui donne pour se décharger une bouche libre, et on l'entoure, dans la partie la plus basse de son cours, de digues qui s'unissent ensuite à celles du fleuve. Mais si les eaux sont moins abondantes et viennent de lieux bas, le canal est muni, dans l'endroit où il coupe la digue pour entrer dans le fleuve, d'un empellement principal qu'on appelle chiavica maestra.

Dans les territoires où les écoulements sont réglés selon les meilleures regles de l'art, on a soin de tenir séparées les eaux dérivées des lieux bas, et celles qui viennent des lieux plus élevés, en conduisant celles-ci sur la partie la plus élevée de la plaine, où elles peuvent demeurer encaissées sans qu'on ait besoin d'y faire un endiguement; là où cette opération n'a pas lieu, les eaux qui viennent de plus haut encombrent les canaux des terrains inférieurs. Les eaux des territoires bas sont recueil-lies dans un canal principal appelé canal maestro, qui suit parallèlement le cours du fleuve, pour déboucher ensuite dans le lieu le plus bas qu'il puisse atteindre; si, dans l'intervalle, il se rencontre quelque autre canal plus élevé ou quelque ruisseau moins important, on le fait quelquefois passer par-dessous au moyen d'un tunnel ou aqueduc siphon.

Le canal principal recoit dans son cours d'autres canaux secondaires; et partout où la dépression des terrains le demande, le premier ainsi que les seconds sont munis de digues d'une hauteur suffisante pour contenir les plus grandes crues, quand les grands empellements sont fermés. Afin que les eaux internes n'aillent pas s'accumuler dans les lieux les plus bas, et celles du grand canal regorger dans les canaux secondaires, on place également à l'embouchure de ces derniers des vannages qu'on tient fermés, tant que l'abaissement de la crue dans le fleuve ne permet pas d'ouvrir le grand empellement ou chiavica maestra, et qu'une partie des eaux inférieures n'est pas encore écoulée. En maintenant ainsi, en temps de crue, les eaux au dedans du quartier d'où elles proviennent et où elles se conservent élevées dans leurs canaux, on peut aussi diminuer l'affluence des eaux de source qui concourent a accroître les eaux internes. Les digues des canaux d'écoulement servent à limiter le champ de

l'inondation et à diminuer les dommages. Quand les eaux naturelles ou dérivées se dirigent en trop grande abondance vers des lieux bas, on y porte remède en en détournant une partie au moyen de canaux de diversion (canali diversivi).

Historique. — On fait remonter à la domination des Étrusques l'époque à laquelle on a commencé l'endiguement du Pô, qui a livré à l'agriculture cette vaste plaine, jadis couverte de bois et de marais; il est certain que les digues subsistaient déjà du temps des Romains à l'époque où vivait Lucain, qui en parle dans ses vers. Le soin qu'il fallait donner à l'entretien des digues, et pour empêcher les canaux d'écoulement d'être comblés, ayant manqué dans les siècles barbares, tout retourna bientôt à l'état primitif.

Les eaux troubles des débordements ont peu à peu tendu à faire disparaître les marais en élevant le sol, mais cet exhaussement s'est fait plus particulièrement sentir à une petite distance des rives du Pô. Les digues se sont relevées peu à peu, d'abord par systèmes isolés pour défendre les contrées les plus habitées, puis enfin on a réuni tous les systèmes isolés et le reste des anciennes digues romaines pour former le système actuel. Ce n'est qu'après l'endiguement général que l'on a creusé les canaux à eau courante, nommés colatores, presque parallèlement au cours du fleuve, pour porter dans les parties inférieures les eaux intérieures et les petits affluents; c'est ainsi que les marais ont été tout à fait desséchés.

Dès 1300, on avait déjà creusé le grand colatore Delmona pour détourner dans l'Oglio les eaux qui sont derrière la maîtresse digue de Crémone, à l'embouchure de l'Oglio, après avoir essayé sans succès un système de vannage pratiqué dans la digue mème.

Dès 1141, le père Affo parle du colatore de Parmigiana, entre le Crostolo et la Secchia, sur la rive gauche. Si l'on combine ces données avec la mémorable rupture des digues gauches du Pô, près de Ficarolo, arrivée en 1152, on peut en conclure que les grandes digues en aval de Crémone ont été achevées à la fin du xnº siècle. posé les eaux varier comme à Rimbaldèse, on a calculé le module du fleuve qui est de 1.720 mètres cubes; à l'extrême étiage, le débit est de 186 mètres cubes; et à la plus grande crue, il donne 5,456 mètres cubes.

D'après les expériences de M. Defontaine, le module du Rhin serait de 941 mêtres cubes à Bâle, de 1084 à Kehl, de 1.285 à Lauterbourg, et, d'après M. Wiebeking, de 1.643 mêtres cubes à Emmerik, avant son entrée en Hollande.

Le module de la Seine, conclu des observations faites de 1807 à 1836, serait de 249<sup>mo</sup>,55.

Influence des saisons et des montagnes sur le débit.

— Pour comparer les fleuves alpins avec ceux en plaine, M. Lombardini a calculé les débits moyens partiels pour chaque mois pour l'Adda, le Pô et la Seine, et a construit la courbe de ces différents débits mensuels, en les rapportant à une même ligne qui représente le module; on a également rapporté à une ligne moyènne les températures et les pluies mensuelles d'après les observations faites à Milan, de 1834 à 1843, et les évaporations d'après les observations faites à Turin, de 1803 à 1816, par Vassali-Landi; la température moyenne = 11°,6, et les différences les plus grandes en plus ou en moins pour les températures moyennes mensuelles sont — 11°,3 pour le mois de janvier, et + 10°,7 pour le mois de juillet.

La quantité moyenne d'eau tombée annuellement = 1<sup>m</sup>,10528 ou 0<sup>m</sup>,403 par mois; janvier a donné le moins ou 0<sup>m</sup>,04543, mai a donné le plus ou 0<sup>m</sup>,135; pour l'Adda, les débits moyens mensuels sont extrêmes en février et juillet, et correspondent à 53<sup>mc</sup>,34 et 330<sup>mc</sup>,29; pour le Pô, c'est en août où il coule 1.268 mètres cubes, et en mai où il en coule 2.308; pour la Seine, c'est en août qui en donne 147<sup>mc</sup>,97, et en février qui en donne 375<sup>mc</sup>,32.

Les courbes de l'Adda et de la Seine sont inverses l'une de l'autre, et ne coupent que deux fois la ligne du module; celle du Pô coupe quatre fois cette ligne. Si on comparait la courbe des pluies à Paris avec celle des débits de la Seine, on verrail une grande correspondance entre elles, et que celle des pluies est précisément inverse de celle des débits, parce que la pluie est plus abondante en été, où l'évaporation dissipe presque toute l'eau qui tombe. Il en arrive peu à la Seine.

Au contraire, dans les fleuves alpins comme sur l'Adds, la conversion de la pluie en neige rompt cette correspondance: ainsi les plus grandes pluies ont été en 1839 et en 1842, et la plus grands débits de l'Adda ont correspondu aux années suivantes 1840 et 1843, parce que la neige ne fond et ne s'écoule que l'année qui suit celle où elle est tombée. A la crue d'été de 1843 ont concouru puissamment les pluies qui, à cette époque de l'année, ne sont plus de la neige.

Dans le Pô, les débits correspondent à peu près aux pluies contemporaines, attendu l'influence des torrents des Apennins, où la neige est plus rare et fond plus vite. Les pluies plus abondantes d'automne sont aussi accompagnées des vents tièdes du sud-est, qui produisent les dégels dans les Alpes, et augmentent ainsi les crues à cette époque de l'année. Cette qualité des rivières alpines d'avoir le plus d'eau en été est fort précieuse pour les irrigations. Les rapports entre les débits d'étiage et de crue pour le Pô sont comme 1 et 24, et pour l'Adda comme 1 et 50.

Les plus forts étiages de l'Adda ne correspondent pas aux plus grands froids, mais bien aux mois de mars et d'avril; cela peut s'expliquer au moyen des belles observations de M. Charpentier sur les glaciers; cet habile géologue a remarqué que les rivières qui sortent des glaciers sont alimentées par la fonte de l'eau, à la surface des glaces, qui tombe au fond de la vallée par les fentes et interstices, et coule sous des voûtes naturelles que les glaciers forment au-dessus du sol; cet effet se continue même encore longtemps après les premiers froids, parce qu'il faut un temps considérable pour que le refroidissement se communique jusqu'au fond de ces fentes, au point de congeler l'eau qui coule sous ces voûtes naturelles.

Influence modératrice des grands lacs sur les débits des rivières qui les traversent. — Pour faire ressortir par un exemple l'influence modératrice que les grands lacs ont sur le débit des eaux après leur sortie de ces lacs, M. Lombardini a calculé toutes les circonstances de la crue de 1829, relativement à l'entrée et à la sortie des eaux dans le lac de Côme, et a reconnu que les volumes affluant dans le lac sont beaucoup plus grands et varient plus rapidement que ceux qui en sortent.

Débit total de quelques grandes crues. — M. Lombardini, au moyen de sa formule empirique du débit du Pô, a calculé le volume absolu des crues qui, de 1827 à 1840, ont dépassé 1m,60, par rapport au signal de garde de Ponte-Lagoscuro, et il ivé aux résultats suivants :

	DURÉE	Hauteur maxima au-dessus	par se	DÉRIT total	
DATES DES CRUES.	jours.	du signal de garde	maximum	moyen.	en millions de mètres cubes
Du 12 mai au 1" juin 1827	20 5 1/4 22 6 1/4 6 9 1/8 77 16 1/4	mèt. 2,541 1,640 1,993 1,682 1,750 1,910 2,962 2,642	met, cub, 5 047 4 093 4 852 4 708 4 716 4 816 5 140 5 077	mèt. cub. 4 530 4 315 4 338 4 382 4 328 4 359 4 484 4 560	8 369 1 956 8 238 2 367 2 244 3 437 29 631 6 402

Rapport entre la surface des bassins et les débits. — M. Lombardini, en comparant la quantité d'eau tombée sur la superficie totale des bassins de diverses rivières avec leur débit total, est arrivé aux résultats suivants :

Le bassin du Pô a une surface de 69.382 kilomètres carrés, dont 28.326 en plaine et 41.720 en montagne. En supposant que la quantité totale d'eau débitée annuellement par le fleuve, qui correspond au module de 1.720 mètres cubes par seconde, soit uniformément répandue sur cette surface, l'épaisseur de la couche d'eau serait de 0<sup>m</sup>,781 ou les 3/4 de la pluie qui tombe à Milan.

Pour l'Adda, un calcul semblable donne une hauteur d'eau de 1<sup>m</sup>,296 sur son bassin, dont la surface est égale à 4.486 kilomètres carrés, et prouve que la quantité de neige et de pluie qui tombe sur le sommet des Alpes est bien plus considérable que celle qui tombe dans la plaine, et que l'effet de l'évaporation est bien plus limité.

Le bassin de la Seine, qui est de 44.375 kilomètres carrés, serait couvert par 0<sup>m</sup>,177 d'eau, qui est 1/3 de la quantité de pluie qui tombe à Paris. Celui du Mississipi, qui est de 2.882.460 kilomètres carrés, serait couvert par 0<sup>m</sup>,256 ou 1/4 de la pluie qui tombe.

A superficie égale de bassins, le débit de l'Adda égale 8 fois celui de la Seine, et 1,8 fois celui du Pô.

M. Lombardini a calculé le module des différents affluents du Pô, en multipliant la surface en kilomètres carrés des parties du bassin correspondant, en plaine et en montagne, par un certain coefficient. Pour les affluents principaux de la rive gauche, le coefficient correspondant aux surfaces des montagnes varie de 0,025 à 0,055, et à celles en plaine, de 0,007 à 0,041; pour les affluents secondaires de la même rive, ce coefficient varie de 0,027 à 0,030 pour les parties en montagne, et est de

0.008 pour celles en plaine; pour les affluents de la rive droite, le coefficient en montagne varie de 0,47 à 0,028, et celui en plaine de 0,006 à 0,009. En ajoutant ensemble les modules des différents affluents ainsi calculés, il arrive à un total de 1.795<sup>mo</sup>,54, qui ne dépasse que de 75<sup>mo</sup>,54 le module 1,720 mètres cubes du Pô.

Loi que suit le débit par seconde du Po en crue dans ses différentes parties. - M. Lombardini, après avoir calculé à peu près les produits par seconde de tous les affluents du Pô dans le moment des plus grandes crues, ajoute tous ces produits, et arrive à un débit total de 14.480 mètres cubes par seconde, tandis que le débit maximum observé à Ponte-Lagoscuro ne dépasse pas 5.150 mètres cubes, c'est-à-dire le tiers. Il explique cette différence en remarquant que, lors d'une crue, les torrents des Apennins affluent d'abord; viennent ensuite les rivières torrentielles du Piémont; enfin, les eaux qui traversent les grands lacs n'arrivent qu'en dernier lieu, lorsque déjà les autres affluents diminuent. Mais cette cause n'est pas la seule qui tend à modérer le débit des crues; il a calculé que la masse d'eau nécessaire pour remplir le lit du Pô et le porter de l'état ordinaire à celui d'une grande crue, entre Casal-Monferrato et la mer, est de 1.896 millions de mètres cubes, et qu'un pareil volume correspond au débit total d'une crue à raison de 5.150 mètres cubes par seconde pendant 102 heures ou 4 jours 5 heures; ce volume ne s'écoule donc dans la mer que lorsque le lit du fleuve est rempli, et diminue d'autant le débit par seconde dans la partie inférieure, en contribuant à y augmenter seulement la durée de la crue; aussi peut-on admettre que le débit d'une crue est à peu près le même au Tessin, à Crémone, à Ponte-Lagoscuro, malgré la masse d'eau des affluents intermédiaires. On observe partout que les crues des petits affluents sont plus fortes à leur sortie des montagnes qu'à leur embouchure dans le fleuve, principalement lorsqu'elles se répandent dans une plaine et remplissent un vaste bassin.

## IV

## MESURE DE L'AVANCEMENT DES ALLUVIONS DANS LA MER

Prony s'est occupé de cette question, et a trouvé que de 1200 à 1600 le rivage correspondant à l'embouchure du Po s'est avancé de 25 mètres par an, et que depuis 1600 l'avancement annuel s'est élevé à 70 mètres.

Cet avancement en cinq ou six siècles s'est étendu sur une base de 37 kilomètres, et une largeur de 22 kilomètres environ.

M. Lombardini par d'autres considérations arrive à peu près au même résultat que Prony. Il admet qu'au commencement du xmº siècle, après la rupture de Ficarolo, la branche gauche du Pô de Fornaci avait son embouchure à 4.000 mêtres de Loreo, et non à 200 mêtres comme le suppose Prony; que la se trouvait le port des lagunes d'Adria, et que la branche droite dile d'Adriano, débouchait à Mesola, comme l'admet aussi Prouy. D'après cela, de 1200 à 1600 les alluvions du Pô se seraient avancées de 9.000 mêtres, entre l'embouchure du Pô de Fornaci et celle du Pô du Levant, telle qu'elle est tracée sur la carle de 1599, ce qui donne pour l'avancement annuel 22m,50. L'avancement, de 1600 à 1800, entre l'embouchure du Pô du Levant et celle de Maestra, est de 12.800 mêtres, ou de 64 mêtres par an.

Il est intéressant aussi de voir, non plus quel a été l'avancement général de la plage, mais de combien le fleuve a successivement allongé son cours, car cet allongement est ce qui à le plus d'influence sur le régime de la partie supérieure; ces allongements sont soumis à bien des alternatives, car souvent lorsqu'une branche s'est trop allongée, une rupture naturelle ou une coupure artificielle sont venues la raccourcir. Ainsi par exemple la branche principale du Pô, qui, dans ces derniers temps, a formé la pointe extrême de Maestra, par l'effet d'une première dérivation, vint à déboucher sur la gauche au port de Maestra; et plus tard, en 1823, par l'effet d'une seconde dérivation, déboucha à Scanarello en abrégeant son premier parcours de 6.000 mètres.

Si l'on compare maintenant la longueur de la branche de Maestra jusqu'à la pointe de ce nom, avec la coupure vénilieure de Porto Viro faite en 1604, on aura un allongement total de 26.450 mètres ou de 132 mètres par an; en 1669 cet avancement

était déjà de 8.338 mêtres ou de 128 mêtres par an \*. En nous limitant à l'embouchure actuelle de Porto-Scanarello, le prolongement ne sérait que de 20.450 mètres en 230 ou de 89 mètres par an. Enfin, en comparant la longueur actuelle de la branche principale du Pó à celle de Tramontana, avant la coupure vénitienne, on trouve pour la première un excédent de 10.000 mêtres. Voici les longueurs des différentes branches du Pô depuis la pointe Saint-Maria;

Branche d'Ariano jusqu'au port de G	ioro.								45.000
Pô-Grande jusqu'à la tête de la coup	ure v	éniti	enn	e.			01		16,500
Po de Fornaci (branche de Tramontar	na) 17	400	) m	ètre	SP	n 13	599	et	101000
lors de sa fermeture en 1612						000			25.400
Pô de Fornaci (branche du Levant) 1	6,200	) mè	tres	en	15	99,	et l	ors	
de sa fermeture en 1646				6.		1			33.200
Pô de Maestra, à la pointe de Mae	stra.								33.400
Id. au port de Maestra				4			4	-	30.400
<ol> <li>au port de Scanarelle</li> </ol>	0								27.400
Id. au port de Tolle.									30.500
Id. à Buse de la Pila.									27,900
Id. à Camello									25,900
Id. à l'embouchure de D	onzel	la.	4						31.000

Les alluvions hors des dunes avaient en 1599 une surface de 15.800 hectares, et l'étendue ajoutée depuis est de 31.100 hectares; en divisant la première par 300 ans et la seconde par 230, on trouve pour les accroissements annuels respectifs 52°67 et 135°,22 qui sont entre eux dans le rapport de 39 à 100.

Il serait plus important encore de connaître les volumes, mais pour cela les données certaines sur les profondeurs manquent et M. Lombardini en est réduit aux conjectures. Les sondages faits pour la grande carte du royaume Lombardo-Vénitien donnent à la plage actuelle une pente de 4 à 6 millimètres par mètre; si l'on suppose que la pente est la mème qu'autrefois, la profondeur eût été de 70 à 80 mètres à la pointe de Maestra et au port de Tolle; en admettant une pente moyenne de 5 millimètres et une profondeur moyenne de 31<sup>m</sup>,6, M. Lombardini arrive à un cube de 42.760.000 mètres cubes pour le volume annuel des matières transportées à la mer depuis 1604.

Ce savant ingénieur cherche encore à arriver au même but par des considerations d'un ordre tout à fait différent; il admet, d'après les expériences de Tadini, que la quantité de matières troubles tenues en suspension par les hautes eaux du Pô est

D'après une brochure de Guimet, ingénieur des ponts et chaussées, rédigée en 1796, la bouche principale du Hhône avait, depuis 1737, avancé de 7.800 mètres dans la mer ou de 130 mètres par an.

égale à 100; or, le Pô pendant 411,3 se tient au-dessus de 2m,50, mesurés à l'échelle de Casalmaggiore ou au-dessus d'une micrue; et comme le débit moyen par seconde des crues qui dépassent 2m,50 est de 3.470 mètres cubes, d'après un calcul conclu de la formule empirique déjà citée qui donne une relation entre les débits et la hauteur des eaux, on aurait 1470 = 11mc,5 de matières sablonneuses et vaseuses par seconde et 40.637.000 mètres cubes par an pour les 411,3, chiffre qui s'approche bien de celui trouvé plus haut, quoiqu'il lui soit inférieur de 2.123,000. Cette petite différence se retrouvera bien si l'on observe que, même par les eaux basses, le Pô roule toujours sur son fond des matières qui ne sont pas tenues en suspension, et qui finalement arrivent aussi à la mer.

Il faut aussi faire attention que le nombre 411,3 devrait être augmenté, parce qu'à Ponte-Lagoscuro la durée des crues est sensiblement plus grande qu'à Casalmaggiore.

Le volume des matières transportées à la mer avant 4600 n'est que de 40.637.000 × 0,39, ou de 15.600.000; la différence qui est de 25 millions de mètres cubes doit être attribuée surtout au défrichement des montagnes.

M. Lombardini a calculé que la surface des terrains en dehors des digues entre Casal-Monferrato et la mer, et qui est soumise aux inondations, est de 653 kilomètres carrés, sur lesquels les 25 millions de mètres cubes de matières provenant des défrichements donneraient un exhaussement annuel de 0<sup>m</sup>,0383 ou un exhaussement total de 9<sup>m</sup>,38. De 1600 à 1842, un seul siècle eût suffi pour empêcher l'écoulement des eaux des basses plaines derrière les digues, écoulement qui cependant n'a jamais été entravé. Les dépôts qui se forment sont en réalité insensibles ; la plus grande masse des matières tenues en suspension depuis 1600 est entraînée à la mer par un plus fort débit des crues.

L'opinion la plus répandue, quoique la moins fondée, étant que le lit du Pó va en s'exhaussant continuellement, et que c'est cet exhaussement et son allongement incessant dans la mer qui est la cause des fréquents débordements du ficuve, on a proposé, dans ces derniers temps, pour remédier au mal, d'ouvrir une nouvelle coupure qui irait en ligne droite de Berra ou de Sarravalle à la rade de Goro, et raccourcirait le cours du fleuve de 21.100 mètres, et de maintenir une seule embouchure et un seul bras bien endigué qui entraînerait au loin en mer tous les limons. Mais M. Lombardini fait remarquer que ce ne serait qu'un palliatif pour un moment; que la dépense serail

hors de proportion avec les avantages; qu'il serait fort difficile de maintenir loujours le fleuve dans un seul bras; qu'une seule embouchure serait d'ailleurs nuisible à l'écoulement des eaux, attendu que souvent, par l'effet d'une tempête, les vents et les flots accumulent les sables et les vases à une bouche, et que dans le cas de plusieurs bouches, les eaux peuvent s'écouler par celle qui n'a pas été obstruée. Cela est vrai, surtout pour une mer où il n'y a que des marées faibles, et où, dans la basse mer, il ne peut s'établir une pente qui entraîne les matières accumulées; à l'embouchure du Pô, la différence moyenne entre les basses et hautes mers n'est que de 0<sup>m</sup>,7254; les observations faites de deux heures en deux heures entre Ficarolo et Crespino ne donnent aucune indication de marée devant cette partie du fleuve; à la Cavanella du Pô, à 30 kilomètres de l'embouchure, on a remarqué des oscillations variant entre 0<sup>m</sup>,03 et 0<sup>m</sup>,05.

Avec une seule embouchure, les dépôts s'étendant sur un plus petit front avanceraient bien plus rapidement en mer, et le prolongement annuel du cours, au lieu d'être de 60 à 80 mêtres, serait peut-être de 450 à 200 mêtres.

Les effets que l'on attend d'un raccourcissement du cours du fleuve dans la partie inférieure, sur l'abaissement du niveau des crues, sont illusoires; Tadini, qui avait d'abord proposé aussi cette nouvelle coupure, avait calculé que, par l'approfon-dissement du lit et son raccourcissement, le ventre des crues, qui est à Ostiglia, pourrait être abaissé de 0<sup>m</sup>,65 seulement; mais un tel abaissement ne serait pas instantané, et avant qu'il eût lieu le cours du fleuve se serait de nouveau allongé; ainsi on n'obtiendrait jamais le résultat calculé de 0<sup>m</sup>,65. La plus grande marée de l'embouchure, de 1<sup>m</sup>,24, qui à 30 kilomètres n'est plus que de 0<sup>m</sup>,05, prouve bien qu'un abaissement dans un point ne se fait pas sentir sur une grande distance en amont.

M. Lombardini croit que, dans l'état actuel de l'art, il n'y a pas de remède au mal; mais il fait observer qu'aujourd'hui les limons du fleuve se déposent dans la mer sur un front trois fois plus large qu'il y a deux siècles, qu'ainsi les avancements doivent devenir moins rapides; il calcule qu'un promontoire semblable à celui qui s'est formé en 230 ans depuis la coupure vénitienne, entre le Pô du Levant et la rade actuelle de Goro, mais qui s'étendrait entre le port de Chioggia et celui de Primaro, auraît une base trois fois plus grande et une surface neuf fois plus considérable, et mettrait ainsi 1,840 ans à se former. Il pense qu'alors seulement les parties supérieures du Pô pourront ressentir un funeste effet de l'envasement de l'embouchure, mais



#### RIVIÈRES DE LA LOMBARDIE

560

que cette époque est si éloignée, qu'il n'y a pas lieu d'avoir des craintes aujourd'hui.

On a proposé aussi, pour diminuer le mal, le reboisement des montagnes; Menzotti a même prescrit un piquettement perpendiculaire aux ravinements qui se font sur les flancs des montagnes avec des plantations de buissons. Ces moyens peuvent être efficaces, mais M. Lombardini les regarde comme inexécutables, principalement parce que les États dans lesquels ces montagnes existent ne sont pas intéressés à l'amélioration du cours du Pô.

L'endiguement prématuré des prolongements du cours du fleuve vers l'embouchure est un mal qu'il faut éviter, parce qu'il empêche les dépôts de s'étendre sur une surface plus grande.

#### V

# QUESTIONS (RELATIVES AUX ALTÉRATIONS DU FOND ET DES CRUES DU PO.

Ce sujet est fort important et les avis des ingénieurs qui s'en sont occupés ont été différents. Le nombre des données positives est malheureusement fort petit, nous allons les rapporter et les examiner toutes; on verra sur quoi se fondait l'opinion si généralement accréditée de l'exhaussement successif du lit du Po.

Observations rapportées par Zindrini pour prouver un exhaussement du fond. — Zindrini rapporte que, dans la visite qui fut faite sur le Pô en 1721 par les commissaires des gouvernements autrichien, vénitien et pontifical, on a constaté que le couronnement (coltellata) du sas de l'écluse de Polesella était surmonté par les crues de 0m,76; il suppose en outre que, lors de sa construction à la fin du xv° siècle, on a dû mettre ce couronnement à 0m,76 au-dessus des crues, et il en conclut que le niveau des crues s'est élevé de 1m,52 en deux siècles. M. Lombardini croit cette observation incertaine, car rien ne prouve que le sommet de cet ouvrage ait été primitivement construit à 0m,76 au-dessus des crues; il fait observer que c'est précisément dans cette période qu'a été faite la coupure de Porto Viro qui a limité le prolongement absolu du Pô, dont l'embouchure

1

était en 1721 à 65 kilomètres de Polesella, et qu'ainsi il y a lieu de révoquer en doute cette prétendue augmentation dans les crues.

Zindrini rapporte ensuite une autre observation faite dans cette même visite au barrage de la Cavanella du Pô, construit en 1623, où l'on a trouvé le plan des hautes eaux à 0<sup>m</sup>,76 audessus des portes, tandis qu'à l'époque de leur construction on les avait placées à 1<sup>m</sup>,01 au-dessus des crues : il y aurait donc eu dans l'espace d'un siècle un exhaussement de 1<sup>m</sup>,77 dans les crues. M. Lombardini explique cet exhaussement par l'allongement du cours du Pô de 11.489 mètres qui a eu lieu dans cet intervalle de temps, et qui aurait élevé de 1<sup>m</sup>,62 la surface des hautes eaux, en supposant, comme tout porte à le croire, que la pente à la surface, qui est aujourd'hui de 0<sup>m</sup>,14 par kilomètre en temps de crue, eût été toujours la même : la différence de 0<sup>m</sup>,15 entre 1<sup>m</sup>,77 et 1<sup>m</sup>,62 peut s'expliquer, suivant lui, par la plus grande abondance d'eau qui s'écoule depuis les défrichements.

Observations de Manfredi tendant à prouver un abaissement de fond. — Manfredi, au contraire, rapporte qu'en 1600 l'étiage du Pô correspondait à l'ancien seuil de l'empellement de Pilostrese, en aval de Stellata; qu'en 1613, en reconstruisant cet ouvrage, on abaissa le seuil de 0m,64; que l'étiage de 1625 était de 0m,015 en contre-bas du nouveau seuil, et que celui de 1693 était descendu à 1m,14 en contre-bas; de sorte que l'étiage de 1693 eût été de 1m,78 plus bas que celui de 1600. Suivant le même auteur, on aurait vérifié pour les hautes eaux un abaissement de 1m,08 dans le même intervalle de temps, et de 0m,55 seulement de 1665 à 1693, effets qu'il attribue à la réunion du Panaro au Pô-Grande. M. Lombardini pense que cette observation de Manfredi doit être considérée comme purement locale et accidentelle.

Un exhaussement dans les crues ne prouve pas un exhaussement de fond. — Cet ingénieur distingué fait observer que cette dernière observation conduirait à une conclusion opposée à celle que l'on pourrait tirer des deux premières; que, de plus, il n'est pas rationnel de déduire nécessairement de l'augmentation des crues l'exhaussement du fond; que, pour qu'une telle déduction soit logique, il faut que le débit des crues comparées soit le même, et que les autres circonstances relatives à la section de l'écoulement soient aussi les



#### RIVIÈRES DE LA LOMBARDIE

562

memes. Ainsi, une rupture de digue peut occasionner un abaissement dans le niveau d'une crue, sans que le débit en le fond du lit ait changé. Il cite la crue de 1705 qui rompit les maîtresses digues du Pô en quarante-huit endroits, et transforma la plaine en un vaste lac, et qui fut cependant surpassée en hauteur de 0m,90 et même de 1m,00 par plusieurs crues de ce siècle. Il rappelle également que la crue de 1801 a été, entre l'embouchure de l'Adda et Casalmaggiore, la plus grande connue; que, de là à l'embouchure de l'Oglio, elle ne fut surpassée que par celle de 1839, tandis que dans le Mantouan elle le fut par celles de 1807, 1810, 1812 et 1839, et il explique cela en remarquant que dans le Crémonais il n'y a pas eu de rupture de digue depuis 1705, tandis que de 1801 à 1810 il y en a eu un grand nombre dans le Mantouan, et que, par suite de cela, on a progressivement complété dans ce dernier pays le système d'endiguement à partir de 1801, et qu'alors aussi les ruptures sont devenues moins fréquentes et moins importantes \*.

Les altérations des hauteurs des crues et du fond du lit peuvent être souvent entièrement locales, et tenir à des circonstances fortuites comme les effets variables des affluents, un raccourcissement de ligne, un allongement du cours, etc.; elles ont dû être sensibles lors des sauts du fleuve dont nous avons parlé.

\*On commença à élever les digues de 0<sup>m</sup>,24 au-dessus de la crue de 1801, puis, en voyant la crue de 1807 encore plus grande, on porta les digues à 0<sup>m</sup>,75 au-dessus de cette dernière; enfin, après les crues de 1810 et de 1812, on les porta à 0<sup>m</sup>,80 au-dessus de cette dernière qui était la plus grande, mais pas purtout, car dans la grande crue de 1839 on fut obligé en deux points, sur 700 mètres de longueur, de mettre des surhausses (sopra sogli; les couronnements des empellements même étaient trop bas. Cependant le reste des digues du Mantouan, qui a 150 kilomètres de longueur, était en général de 0<sup>m</sup>,50 à 0<sup>m</sup>,60 au-dessus de la crue du 8 novembre 1839, et de 0<sup>m</sup>,30 au minimum.

Les digues du Crémonais, qui ont 80 kilomètres de longueur, n'ont jamais été rompues depuis 1705; leur hauteur fut régularisée après la crue de 1801, qui fut la plus grande connue alors; cette dermère crue se trouva déprimée plus en aval par la rupture des digues du Mantouan et du Ferrarais, qui livra un passage direct des eaux à la mer par les Polésines de Rovigo.

Les digues furent également rompues en 1807 et 1810. Les crues de 1812 et de 1839 furent seules contenues; les ruptures n'eurent lieu qu'à la crue décroissante. Si la crue de 1801 eût été maintenue, partout elle eût dépassé celle de 1839 et même de 1705. Les crues sont plus fréquentes dans ce siècle que dans le siècle passé; mais on ne saurait conclure de leur exhaussement et de l'exhaussement des digues un relevement du lit du fleuve.

Après la crue de 1839 on a encore réclamé un exhaussement de 0,40 à 0,50 dans les digues du Mantouan et du Ferrarais.

The first of the second of the second of the

Difficulté de faire des observations concluantes sur l'altération générale du lit. — M. Lombardini fait ressortir Loutes les difficultés qu'il y a pour déterminer directement les altérations dans le système général du fond du lit du Pô, qui est représenté par une ligne, ondulée très variable, et où l'on trouve souvent des différences de 5, 10, 15 et 20 mètres, êntre les profondeurs à pic, dans les anses concaves que les corrosions déplacent incessamment, et les dos (dossi) intermédiaires qui séparent deux anses. Il peut y avoir des altérations locales dans le fond du lit de 20 mètres, sans que le système moyen du lit

ait éprouvé de changement.

Suivant cet ingénieur, la comparaison de la surface des eaux à égal débit est le moyen le plus sûr pour connaître la variation du système général du fond du lit; ce sont surtout les surfaces d'étiage qui sont les plus propices à cet effet, parce qu'elles sont plus dépendantes du fond; mais ces sortes de comparaisons sont très difficiles et presque impossibles dans un grand fleuve. Une autre source d'erreurs, dans la comparaison des différentes hauteurs des eaux, provient de ce que la surface d'un fleuve ne varie pas parallélement à elle-même; ainsi, dans une anse, la force centrifuge surélève les eaux, et d'autant plus que la crue et la vitesse sont plus grandes; de là il suit que, par les hautes eaux, le filet d'eau qui s'échappe d'une anse pour se porter sur celle qui lui est opposée, a une pente plus prononcée depuis le sommet de l'anse supérieure jusqu'au dos intermédiaire, et moindre depuis ce dernier point jusqu'au sommet de l'anse inférieure; en étiage, au contraire, la vitesse et la force centrifuge étant moindres, et la résistance au mouvement dans ces concavités profondes étant moindre aussi, parce qu'à égalité de section le périmètre mouillé est plus petit, les eaux s'élèvent moins dans les anses, et la pente est plus faible jusqu'au dos intermédiaire, à partir duquel elle augmente et forme un rapide d'autant plus prononcé que les eaux sont plus basses; cela est surtout vrai, si le fleuve coule sur un fond de gravier résistant.

Les variations de pente sont ainsi les plus grandes et en sens inverse pour un même lieu dans les états e dromes de hauteur d'eau; la plus grande uniformité de penta corressond donc à un état intermédiaire. En combin pente avec les variations local rosions, on voit combien est du de la détermination du change.

fond du lit.

4

#### VI

## NAVIGATION DU PO

En aval de l'Oglio, où la navigation du Pô est tout à fait régulière et assurée même en étiage, elle se prolonge jusqu'à la mer, quoique la plus grande masse de bateaux corresponde avec les fleuves vénitiens par la Cavanella du Pô.

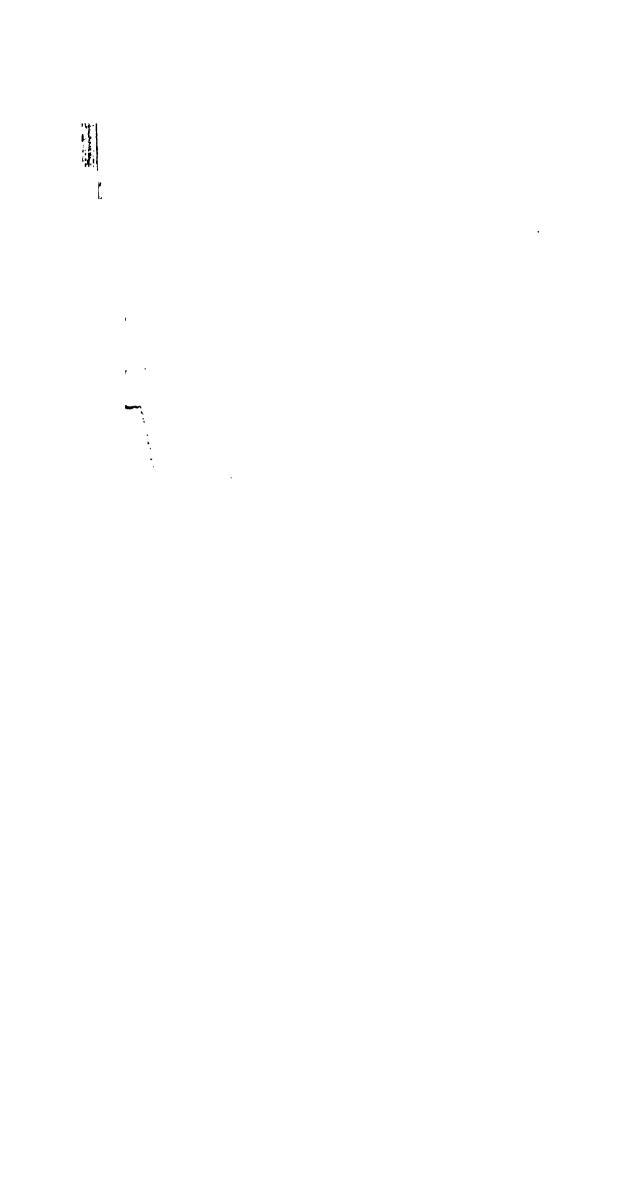
Les plus grands bateaux sur le Pô portent 130 tonnes, les moindres 40; les premiers ont 35 mètres de longueur, 4m,75 de largeur à la sole et 6m,50 en haut; ils sont munis d'une voile. Pour la navigation ascendante, les bateaux se réunissent en un convoi qui est formé par un grand, un moyen et un petit bateau, et halé par 8 à 12 chevaux qui suivent les digues en froldo, les hautes berges, dites piarde, ou les alluvions de formation plus récente, tantôt sur la rive droite, tantôt sur la rive gauche; quelquefois on les hale un à un là où les courants sont plus rapides ou à l'embouchure des torrents des Apennins, ou lorsqu'il y a quelque travail en construction.

En amont de l'Oglio on est obligé souvent en étiage d'alléger les bateaux, pour les faire passer sur les maigres.

On parcourt de 1 à 2 kilomètres par heure à la remonte, et 1<sup>k</sup>,5 en moyenne; à la descente les bateaux sont guidés par une petite barque sur laquelle il y a une ou deux paires de rameurs, et l'on parcourt de 2 à 6 kilomètres par heure et 3<sup>k</sup>,5 en moyenne.

(Extraits du Mémoire de 1847).









•





SEP 28 1939

