

# Voies navigables

par **Pierre SAVEY**

*Ingénieur Général des Ponts et Chaussées*

*Directeur Général de la Compagnie Nationale du Rhône*

<b>1. Généralités</b>	C 5 550 - 2
1.1 Historique sommaire de la navigation fluviale	— 2
1.1.1 Utilisation de la voie d'eau jusqu'en 1945	— 2
1.1.2 Développement de la navigation fluviale à partir de 1945	— 2
1.1.3 Situation administrative	— 2
1.1.4 Financement	— 3
1.2 Intérêt écologique et économique	— 4
<b>2. Étude et réalisation d'une voie navigable</b>	— 5
2.1 Principes d'aménagement	— 5
2.1.1 Matériel de navigation	— 5
2.1.2 Normes	— 5
2.1.3 Aménagement à courant libre	— 5
2.1.4 Aménagement par création de retenue	— 7
2.1.5 Canal de jonction	— 7
2.2 Aménagement du chenal	— 7
2.2.1 Profil en travers	— 7
2.2.2 Tracé en plan	— 8
2.2.3 Protection des berges	— 8
2.2.4 Ouvrages divers	— 9
2.2.5 Balisage et signalisation	— 10
2.3 Ouvrages de retenue et de franchissement	— 10
2.3.1 Barrages et seuils	— 10
2.3.2 Écluses	— 14
2.3.3 Élévateurs mécaniques	— 20
2.4 Problèmes divers	— 22
2.4.1 Insertion dans l'environnement	— 22
2.4.2 Alimentation en eau	— 23
2.4.3 Évacuation des crues	— 23
2.4.4 Parcours de canoë-kayak	— 24
<b>3. Ports fluviaux</b>	— 24
3.1 Construction	— 24
3.2 Exploitation	— 24
3.3 Ports de plaisance	— 25
<b>4. Exploitation de la voie navigable</b>	— 25
4.1 Exploitation générale	— 25
4.1.1 Conduite des ouvrages	— 25
4.1.2 Navigation en période de crue	— 25
4.1.3 Navigation par grand froid	— 25
4.2 Surveillance	— 25
4.2.1 Surveillance du chenal	— 25
4.2.2 Surveillance des digues	— 26
4.2.3 Surveillance des ouvrages en béton	— 26
4.2.4 Surveillance des ouvrages métalliques et électromécaniques	— 26
4.2.5 Surveillance du balisage, de la signalisation et des ouvrages d'accostage	— 26
4.3 Entretien et renouvellement	— 26
4.3.1 Dragages d'entretien	— 26
4.3.2 Ouvrages de génie civil	— 27
4.3.3 Parties mobiles	— 27
4.3.4 Modernisation	— 27
4.4 Police de la navigation	— 27
<b>5. Conclusion</b>	— 27
<b>Pour en savoir plus</b>	Doc. C 5 550

La navigation intérieure utilise 10,9 fois moins d'énergie que la route et 1,7 fois moins que le fer pour transporter un même flux de marchandise.

Consommant moins d'énergie, ce mode de transport est donc moins polluant que les autres. Il est aussi plus sûr car les risques de collision sont moindres et il constitue le plus souvent un mode de transport en site propre. Enfin, c'est un mode de transport comparativement moins bruyant que le camion ou le train. C'est donc, au total, le mode de transport le plus « écologique ».

# 1. Généralités

## 1.1 Historique sommaire de la navigation fluviale

### 1.1.1 Utilisation de la voie d'eau jusqu'en 1945

Les rivières ont, de tout temps, constitué un chemin de pénétration préférentiel et les premières civilisations se sont établies le long des vallées. Jusqu'à la fin du 18<sup>e</sup> siècle, la voie d'eau a constitué le seul moyen de transport de masse.

L'écluse, inventée au 14<sup>e</sup> siècle par des ingénieurs hollandais, puis perfectionnée par Léonard de Vinci, a permis aux embarcations de franchir des dénivelées naturelles ou artificielles.

Le premier concurrent de la voie d'eau fut le chemin de fer apparu au milieu du 19<sup>e</sup> siècle. Toutefois, compte tenu de la forte croissance industrielle de la deuxième moitié du 19<sup>e</sup> siècle et du début du 20<sup>e</sup> siècle, les deux modes se développèrent simultanément. C'est ainsi qu'en France un vaste programme de développement du réseau fut lancé en 1880 par Freycinet. Il était conçu pour des bateaux de 38,5 m de longueur, de 5,05 m de largeur, avec un enfoncement (ou tirant d'eau) de 2,20 m, pouvant transporter environ 350 t.

La traction de ces péniches était assurée d'abord par halage animal, puis mécanique le long des canaux ; le remorquage par des bateaux à vapeur est apparu également à cette époque. Souvent plusieurs péniches pouvaient être tirées ensemble.

Sur certaines voies à fort trafic, les écluses furent d'emblée construites avec un gabarit plus important (125 m par 12 m sur l'Oise, 141 m par 17 m sur la Seine).

En France, très peu d'infrastructures nouvelles furent construites entre 1914 et 1945.

### 1.1.2 Développement de la navigation fluviale à partir de 1945

La reconstruction de la France après la Seconde Guerre mondiale a nécessité des possibilités de transport importantes. Le faible coût de la voie d'eau, résultant entre autres de la taille des bateaux et du développement du poussage, lui a permis de concurrencer le rail, la route et même l'oléoduc, pour les marchandises pondéreuses.

Le tableau 1 indique l'évolution des trafics en France au cours des dernières décennies.

Il montre que le trafic voie d'eau a connu une forte croissance jusque dans les années 70 mais que la situation s'est fortement dégradée depuis. Les tonnes transportées ont diminué et la distance moyenne de transport a également décliné. Ce phénomène est dû à plusieurs causes : dynamisme et compétitivité croissante du transport routier, organisation rigide et réglementée de la profession du transport fluvial, manque d'investissement dans les infrastructures à partir de 1970, mauvais raccordement avec les ports maritimes.

Tableau 1 – Développement du trafic voie d'eau en France			
Années	Trafic		Distance moyenne de transport (km)
	(millions de t)	(milliards de t · km)	
1950	42,6	6,69	157
1960	68,0	10,77	158,5
1970	110,4	14,19	128,5
1980	92,2	12,15	132
1990	66	7,10	107,5

Cette tendance défavorable semble cependant appelée à s'inverser en raison de la prise de conscience de la saturation du mode routier et de la préoccupation croissante de la qualité de l'environnement.

La répartition des marchandises transportées par type de produits est donnée dans l'article *Transport par voie navigable* [A 9 455] du traité L'entreprise industrielle.

Le réseau français actuel comporte un total de 8 500 km dont 6 250 km sont fréquentés, mais seulement 1 830 km de voies à grand gabarit.

La figure 1 représente l'ensemble du réseau européen à grand gabarit en service ou en projet.

Le schéma directeur des voies navigables approuvé par décret en 1985 prévoit :

- la restauration du réseau existant ;
- l'achèvement de l'aménagement des vallées sur les axes Seine-Nord, Seine-Est, et Saône-Rhin ;
- les liaisons inter-bassins correspondantes.

La figure 2 indique ce que devrait être à terme le réseau français.

### 1.1.3 Situation administrative

En France, les voies navigables dépendent du ministère de l'Équipement (Direction des Transports terrestres).

En 1991 a été créé un établissement public à caractère industriel et commercial, Voies Navigables de France (VNF), doté de l'autonomie financière.

Cet établissement est chargé de l'exploitation, de l'entretien, de l'amélioration et de l'extension des voies navigables et de leurs dépendances, de la gestion du domaine public fluvial, ainsi que des problèmes liés à l'exploitation commerciale du réseau et à la profession de transporteur fluvial.

Le personnel des services de Navigation du ministère de l'Équipement est mis à sa disposition, et VNF peut, en outre, recourir aux compétences du Service Central Technique des Ports Maritimes et des Voies Navigables.

C'est donc lui qui assure le plus souvent la maîtrise d'ouvrage. Cependant, dans certains cas, l'exploitation, l'entretien, la construction des voies navigables ainsi que la gestion domaniale sont déléguées en tout ou partie à un organisme spécifique qui peut être soit un concessionnaire (Électricité de France sur le Rhin, Compagnie Nationale du Rhône sur le Rhône et la liaison Saône-Rhin), soit un établissement public (Port autonome de Paris ou de Strasbourg par exemple).

#### 1.1.4 Financement

Pour assurer sa mission, Voies Navigables de France perçoit à son profit des taxes sur les prises et rejets d'eau et autres ouvrages hydrauliques établis sur les voies navigables, des redevances pour l'utilisation du domaine public fluvial (extraction de matériaux, droit de pêche, occupation temporaire) et peut instituer des péages sur la navigation. Au produit de ces taxes, redevances et péages s'ajoutent les dotations du budget de l'État. Pour 1993, le chiffre inscrit au budget de l'État pour les voies navigables est de 120 MF. Ce budget est une faible partie (1/400) du budget total des transports (46 000 MF).

**Consolidation du budget de l'État et de celui de VNF**  
(en MF)

	État	VNF	Consolidé
Subvention VNF .....	120	120	120
Voies non concédées à VNF .....	16	.....	16
Taxes hydrauliques .....	.....	431	431
Péages .....	.....	57	57
Redevances domaniales .....	.....	20	20
Prestations de services .....	.....	10	10
Participation des collectivités .....	.....	79	79
Divers .....	.....	5	5
Plan économique et social de la batellerie .....	35	.....	35
<b>Total .....</b>	<b>171</b>	<b>722</b>	<b>773</b>



Figure 1 – Réseau européen

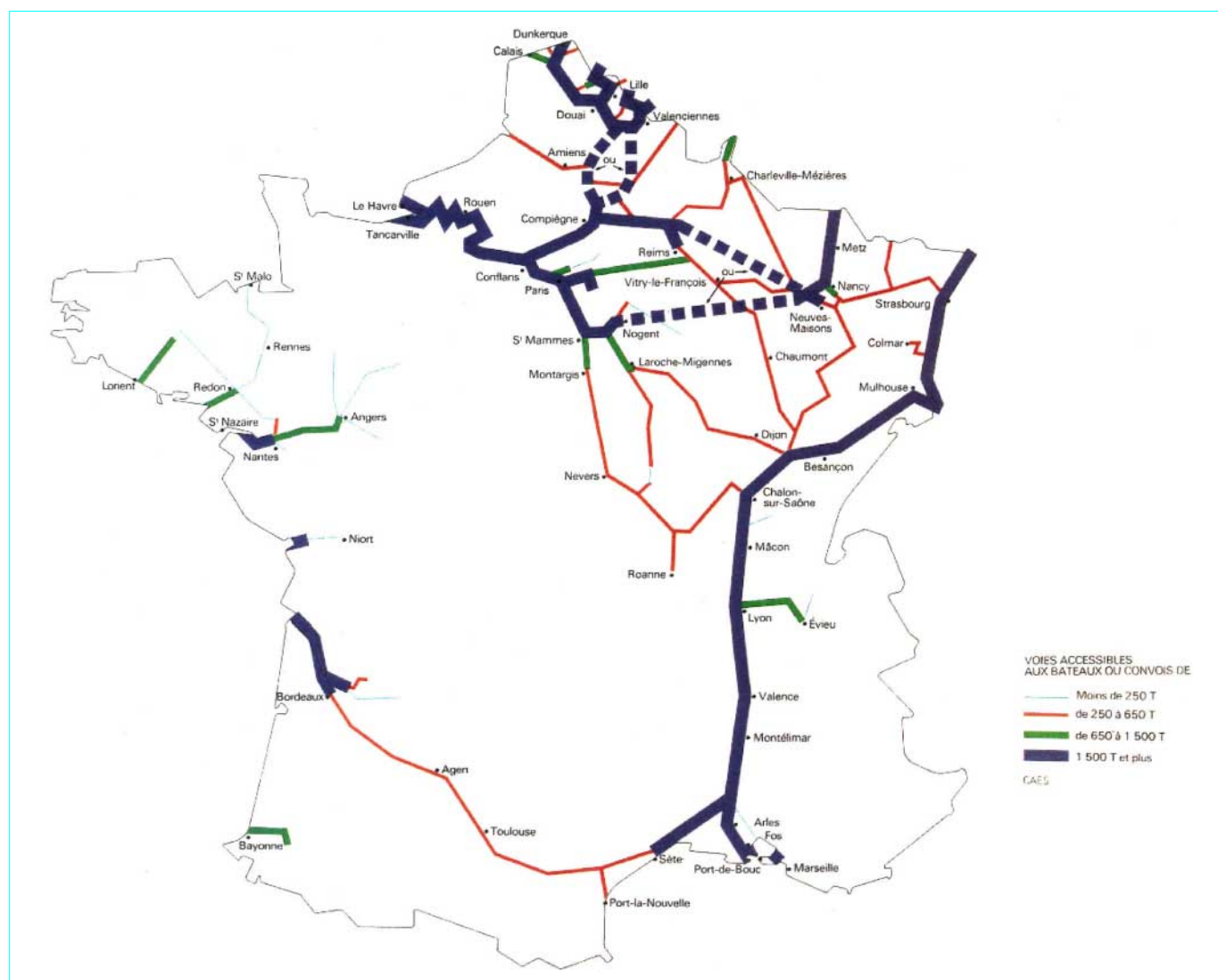


Figure 2 – Schéma directeur du réseau français

## 1.2 Intérêt écologique et économique

La voie d'eau constitue le mode de transport le moins consommateur d'énergie. Le compte des transports de l'OEST (Observatoire Économique et Statistique des Transports) pour l'année 1991 permet de dresser le tableau suivant :

Consommations d'énergie des différents modes de transport de marchandises			
	Fer	Route	Eau
Milliers de tep	760	14 170	60
Milliards de t · km	49,4	147,7	6,8
gep/t · km	15,38	95,94	8,82
tep : tonne équivalent pétrole, gep : gramme équivalent pétrole.			

Le coût du transport par voie navigable, compte tenu de sa capacité et de sa faible consommation énergétique, est aussi le plus avantageux. Cependant, il est handicapé par son confinement sur un réseau limité, au contraire du réseau routier qui se développe sur tout le territoire. Il subit, de ce fait, pour les installations qui ne sont pas riveraines, le coût des charges de transbordement sur engins terrestres.

La vitesse du transport fluvial est faible (entre 10 et 20 km/h) de sorte qu'il ne permet pas les livraisons à très bref délai souhaitées par certaines entreprises. Cependant, fonctionnant 24 h sur 24, il permet des approvisionnements dans des délais de un à deux jours qui sont acceptables la plupart du temps. L'importance des cales offertes permet également, dans certains cas, de constituer des stocks flottants, ce qui peut éviter la construction d'entrepôts coûteux.

Les techniques nouvelles (conteneurs, roll-on roll-off, bateau fluvio-maritime, utilisation des navires porte-barges...) permettent à la voie d'eau d'élargir sa part de marché, autrefois surtout consacrée aux transports pondéreux.



Enfin, la voie d'eau n'est pas exclusivement une infrastructure de transport. Elle est utilisée comme vecteur d'eau pour l'industrie ou l'agriculture et elle constitue souvent un milieu touristique agréable qui permet aux plaisanciers de se livrer à leur sport et aux touristes plus passifs de découvrir des régions intéressantes à bord de bateaux aménagés en hôtels flottants (vallée du Rhin ou du Rhône par exemple).

## 2. Étude et réalisation d'une voie navigable

### 2.1 Principes d'aménagement

#### 2.1.1 Matériel de navigation

Une voie navigable est destinée à permettre à certains types de bâtiments de circuler. Il convient donc tout d'abord de déterminer quel est le type de navire que l'on va admettre sur la voie.

On distingue essentiellement les **navires automoteurs** et les **barges** qui doivent être propulsées par un pousseur.

En fonction du type de navire retenu lors de l'étude économique, il convient d'examiner quelles normes techniques il y a lieu de retenir pour établir le projet de voie navigable.

En Europe, la Conférence Européenne des Ministres des Transports (CEMT) a défini en 1961 six classes de bateaux qui sont résumées dans le tableau 2.

**Tableau 2 – Classification des voies navigables européennes**

Classe de la voie navigable	Bateau	Tonnage (t)
I	Péniche	300
II	Kast Campinois	600
III	DEK	1 000
IV	RHK	1 350
V	Grands Rhénans	2 000
VI	Grands Rhénans	3 000
DEK : bateau type Dortmund-Ems-Kanal RHK : bateau type Rhein-Herne-Kanal		

L'élément le plus caractéristique de cette classification est le bateau dit RHK (Rhein-Herne-Kanal), qui a servi de référence pour la modernisation du réseau européen après la guerre sous la forme du grand gabarit. Le petit gabarit correspond à la péniche Freycinet qui fut la norme de base pour le réseau Français au début du siècle.

L'Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation a proposé une modernisation de cette standardisation (tableau 3) pour tenir compte notamment du développement du poussage. Celle-ci a été approuvée par la CEMT en 1992.

On considère aujourd'hui que les voies navigables nouvelles doivent relever au maximum de la classe IV pour être compétitives.

#### 2.1.2 Normes

En prenant en compte le bateau le plus important qui sera autorisé sur la voie considérée, il est alors possible de déterminer les normes à appliquer pour le projet étudié. Ces normes portent sur le tracé en plan, le profil en travers, la dimension des ouvrages de franchissement.

En France, la circulaire du ministère de l'Équipement n° 76-38 du 1<sup>er</sup> mars 1976 a classé les voies navigables en fonction du type de bateau (cette classification est un peu différente des classifications plus récentes de la CEMT visée ci-avant).

Pour chaque classe, les caractéristiques minimales à adopter sont fixées. Le tableau 4 donne les caractéristiques générales ainsi prévues.

Il est actuellement admis que ces normes doivent être retouchées. Par exemple, pour les classes V et VI, les écluses doivent avoir obligatoirement 190 m de longueur utile. On considère, en outre, compte tenu du développement du transport des conteneurs que le tirant d'air (hauteur sous pont) ne devrait pas être inférieur à 6,50 m, voire 7 m.

On remarquera enfin que le tableau 4 comporte une classe VI qui correspond à la classe Vb de la nouvelle classification européenne (tableau 3). Il ne comporte pas d'indication sur les convois poussés à plus de deux barges (classes VI, de la nouvelle classification européenne) qui existent cependant sur le Rhin.

#### 2.1.3 Aménagement à courant libre

Pour rendre un cours d'eau navigable, il faut presque toujours augmenter les profondeurs à l'étiage et adapter le tracé et la largeur du lit aux impératifs de la navigation.

L'aménagement à **courant libre** consiste à créer un chenal dont le maintien est assuré par le pouvoir érosif de la rivière. Pour cela, il faut approfondir le lit existant, concentrer le débit dans le chenal à l'aide d'épis plongeants et de digues basses et fermer les bras secondaires par des seuils submersibles en hautes eaux.

Une autre technique consiste à guider les courants à l'aide de panneaux (en béton ou même en bois dans certains pays) accrochés à des pieux métalliques ou en bois. Cette méthode dite des **panneaux de fond** a été employée en Afrique et en Asie. Elle a été utilisée dans les années 70 sur le Petit Rhône en aval d'Arles, où elle permet d'obtenir, avec des panneaux immergés de 20 m de largeur espacés de 40 m, une stabilisation de mouillage à 2,50 m sous les plus basses eaux navigables. Cette technique convient pour des fonds sableux ou limoneux alors que la précédente s'applique mieux aux fonds de sables, graviers et galets.

Un tel aménagement n'est possible que si le débit d'étiage de la rivière est supérieur au débit qui correspond à la section minimale nécessaire à la navigation et si la pente n'est pas trop forte. De plus cette concentration du débit dans une section réduite augmente les vitesses et donc le pouvoir d'érosion du cours d'eau, ce qui peut provoquer des instabilités surtout si le tracé du chenal est plus court que celui du lit initial (augmentation de la pente et donc de l'action érosive).

Les lois qui régissent l'évolution morphologique d'un cours d'eau sont complexes. Elles permettent de définir, à partir du débit, de la pente et de la nature des fonds, la longueur d'onde et les rayons de courbure du chenal. Toutefois, elles ne suffisent pas à s'assurer de la stabilité des fonds et doivent être généralement complétées par des études sur modèle réduit en fond mobile.

Ce type d'aménagement a été utilisé avec succès au 19<sup>e</sup> siècle, notamment sur le Rhône. Par contre, sur le Rhin, il a donné lieu à une érosion notable du lit qui a provoqué d'importants abaissements de niveau à l'amont.







Tableau 3 – Proposition de standardisation des voies navigables (Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation)															
Classes de voies navigables (1)	Automoteurs et chalands					Convois poussés					Barges de poussage				Hauteur minimale sous les ponts (m) (4)
	Dénomination	Longueur (m)	Largeur (m)	Tirant d'eau (m)	Tonnage (t)	Dénomination	Longueur (m)	Largeur (m)	Tirant d'eau (m)	Tonnage (t)	Dénomination	Longueur (m)	Largeur (m)	Tirant d'eau (m)	
I	Péniche	38 à 50	5,05	2,20	250 à 400										4,00
II	Kast Campinois	50 à 55	6,60	2,50	400 à 650										4,00 à 5,00
III	DEK	67 à 80	8,20	2,50	650 à 1 000										4,00 à 5,00
IV	RHK	80 à 85	9,50	2,50	1 000 à 1 500	1 barge E I 	85	9,50	2,50	1 250	Europe I	70,00	9,50	2,50	5,25 ou 7,00
V a	Grands Rhénans	95 à 110	11,40 (2)	2,80	1 500 à 3 000	1 barge E II 	95 à 110	11,40	2,50 à 4,50	1 600 à 3 000	Europe II	76,50	11,40 (2)	2,80	7,00 ou 9,10
V b						2 barges E II 	172 à 185	11,40	2,50 à 4,50	3 200 à 6 000					
VI a						4 barges E II a 	185 à 195	22,80	4,50 (3)	8 000 à 12 000	Europe II a	76,50	11,40 (2)	3,90	7,00 ou 9,10
VI b						6 barges 	270 à 280	22,80	4,50 (3)	12 000 à 18 000					
						E II a 	195 à 200	34,20	4,50 (3)	12 000 à 18 000					
(1) La classe d'une voie navigable est déterminée par les dimensions horizontales des bateaux ou convois poussés. (2) Sur le bassin du Danube, cette largeur est généralement de 11 m. (3) Tient compte des développements futurs. (4) Hauteurs vérifiées pour le transport des conteneurs : <ul style="list-style-type: none"><li>• 5,25 m pour les bateaux transportant 2 couches de conteneurs ;</li><li>• 7,00 m pour les bateaux transportant 3 couches de conteneurs ;</li><li>• 9,10 m pour les bateaux transportant 4 couches de conteneurs.</li></ul> 50 % des conteneurs peuvent être vides sinon un lestage est nécessaire.															

Tableau 4 – Caractéristiques générales des voies navigables														
Classe	Tracé en plan : courbes			Rectangle de navigation minimal		Section mouillée normale (2)	Profil normal avec berges à 2/1		Écluses			Ponts		
	Rayon minimal normal (m)	Rayon minimal réduit (m)	Sur-largeur (1) (m)	Largeur (m)	Profondeur (2) (m)		Largeur au plafond (m)	Mouillage (2) (m)	Longueur utile (m)	Largeur utile (m)	Mouillage (2) (m)	Hauteur libre (m)	Ouverture libre (3) normale (m)	minimale (m)
I	400	250	$\frac{800}{R}$	16,00	2,70 ou 3,00	62 ou 72	15,00	3,00 ou 3,30	40,00	6,00	3,00 ou 3,30	3,70	34,00	25,00
III	700	450	$\frac{3\,600}{R}$	18,00	2,70 ou 3,00	72 ou 82	18,00	3,00 ou 3,30	92,00	6,00	3,00 ou 3,30	4,10	39,00	30,00
IV	800	500	$\frac{5\,500}{R}$	36,00	3,50 ou 4,00	170 ou 200	34,00 ou 36,00	4,00 ou 4,50	110,00	12,00	3,50 ou 4,50	5,25	45,00	36,00
V	1 000	750	$\frac{16\,000}{R}$	36,00	3,50	170	34,00	4,00	185,00	12,00	3,50	6,00	45,00	36,00
VI	1 000	750	$\frac{16\,000}{R}$	38,00	4,00	200	36,00	4,50	185,00	12,00	4,50	6,00	47,00	38,00
(1) R représente le rayon réel de la courbe. (2) Les deux valeurs indiquées correspondent à des sous-classes, selon que l'enfoncement (ou tirant d'eau) des bateaux est de : 2,20 m ou 2,50 m pour les classes I et III, et de 2,50 m ou 3,00 m pour la classe IV. (3) Pour une passe navigable à double sens.														

La technique d'aménagement à courant libre convient pour les rivières à gros débit d'étiage (plusieurs centaines de m<sup>3</sup>/s) et à faible pente (quelques dm par km). Elle rencontre cependant des limites et ne permet en aucun cas de garantir le tirant d'eau important que nécessitent les navires modernes. Par exemple, dans le cas du Rhône, où l'étiage atteint 300 m<sup>3</sup>/s, elle n'a pas permis de dépasser 2 m de tirant d'eau pour cet étiage.

En général, ces techniques sont difficiles à mettre en œuvre et exigent des dragages d'entretien non négligeables. Elles sont par contre peu onéreuses en investissement.

Les caractéristiques minimales des voies d'eau aménagées à courant libre peuvent enfin être momentanément accrues, en période d'étiage accusé, par une augmentation artificielle du débit, si l'on dispose en amont d'un barrage réservoir.

### 2.1.4 Aménagement par création de retenue

Ce procédé consiste à relever le niveau des lignes d'eau de la rivière en construisant des barrages (article *Barrages* [C 5 555] dans ce traité). Ces ouvrages créent localement des dénivellées qu'il convient de pouvoir franchir. Il est donc, dans ce cas, nécessaire d'adjoindre au barrage un ouvrage de franchissement (écluse, éleveur, ascenseur, pente d'eau...).

La surélévation des lignes d'eau ne doit pas créer de dommages aux riverains. Il faut donc, dès que le relèvement est un peu important, protéger par des digues les terrains agricoles ou les habitations situées en bordure de la retenue, et assurer l'écoulement des eaux pluviales par des moyens appropriés (contre-canaux de drainage, stations de relevage...).

En outre, les ouvrages construits doivent laisser passer les débits de crue sans aggraver les niveaux naturels. Cela conduit la plupart du temps à prévoir des barrages dont l'effet s'atténue lorsque le débit augmente, c'est-à-dire des barrages à bouchure mobile.

Différents types d'aménagement sont possibles suivant que les ouvrages de bouchure et de navigation sont implantés côte-à-côte ou non, sur la rivière elle-même ou sur un canal de dérivation. On distingue :

- les **aménagements sans dérivation** pour lesquels le barrage et l'ouvrage de franchissement sont implantés sur la rivière elle-même ou à proximité (Saône) ;
- les **aménagements avec dérivation** où le barrage reste sur ou à proximité de la rivière, l'ouvrage de franchissement étant construit sur une dérivation plus ou moins longue (bas-Rhône) ;
- les **aménagements avec canal latéral** où un seul barrage permet d'alimenter un canal de grande longueur sur lequel se trouve en général plusieurs ouvrages de franchissement successifs (grand canal d'Alsace).

La création de retenue permet souvent de prendre en compte, lors de la réalisation de l'aménagement, des objectifs autres que la navigation tels que :

- la production d'énergie puisqu'une chute est créée par le barrage ;
- la protection contre les crues ;
- la fourniture d'eau pour des usages agricoles ou industriels ;
- la création de zones de loisirs orientées vers des activités nautiques et aquatiques.

L'aménagement devient alors un **aménagement à buts multiples** et la création de la voie navigable devient une opération complète d'aménagement du territoire.

### 2.1.5 Canal de jonction

Pour réunir deux vallées entre elles, il faut construire un canal de jonction entièrement artificiel.

Le principal problème à résoudre pour ce type d'aménagement est celui de l'alimentation en eau des ouvrages de franchissement puisqu'il s'agit alors de la zone la plus élevée de la voie navigable. Cela peut se faire en créant des barrages de retenue sur des affluents proches du col, ou en pompant de l'eau dans les biefs inférieurs.

## 2.2 Aménagement du chenal

### 2.2.1 Profil en travers

Il est déterminé en fonction du maître couple des bateaux qui doivent emprunter la voie.

La profondeur minimale doit réserver une certaine distance sous le point bas des navires en pleine charge. C'est le **piéd de pilote** ; il doit être de l'ordre de 0,50 m.

La largeur doit permettre à deux navires de se croiser sans risque de collision (figure 3) en laissant entre eux un espace suffisant (de l'ordre de la largeur du bateau).

La section mouillée doit être suffisante pour que la résistance à l'avancement ne soit pas trop élevée (effet de piston). Elle doit être au moins de 6 fois le maître couple du bateau.

À partir de ces éléments, on peut définir des sections types en fonction de la pente des berges, elle-même imposée par des considérations géotechniques et d'insertion dans le site.

Le passage d'un bateau dans un canal entraîne en effet le déplacement d'un volume d'eau qui doit s'écouler autour du bateau en provoquant un courant de retour. Cette mise en vitesse de l'eau a elle-même pour conséquence un abaissement du plan d'eau. Ce phénomène de pistonement détermine ainsi une vitesse limite que le bateau ne peut dépasser, quelle que soit la puissance de ses moteurs.

Si l'on néglige les forces de frottement, l'application du théorème de Bernoulli (avec des axes liés au bateau) permet une évaluation approximative de la vitesse du bateau  $v$ , de la vitesse du courant de retour  $u$  et de l'abaissement du plan d'eau  $z$  en fonction de la section mouillée du canal  $S$ , de celle du maître couple du bateau  $s$  et de la largeur du plan d'eau  $B$ .

Si on pose :

$$\alpha = 1 + \frac{u}{v} \quad h = \frac{S}{B} \quad n = \frac{S}{s} \quad a = \frac{v^2}{2g}$$

$\alpha$  est solution de l'équation du 3<sup>e</sup> degré :

$$\alpha(\alpha^2 - 1) = \frac{h}{a} \left[ 1 - \frac{1}{n} \right] \alpha - \frac{h}{a}$$

on calcule ensuite  $z = a(\alpha^2 - 1)$ .

Pour connaître la puissance nécessaire pour déplacer le navire à la vitesse  $v$ , on peut évaluer la résistance à l'avancement  $W$  au moyen de la formule de Gebbers-Engel :

$$W = (Ks + \lambda A)(u + v)^{2,25}$$

- avec
- |           |   |
|-----------|---|
| $A$       | surface mouillée de la coque,   |
| $K$       | coefficient dépendant de la forme de la coque et de l'enfoncement (entre 1,5 et 6), |
| $\lambda$ | coefficient dépendant de la rugosité de la coque (entre 0,14 et 0,30).              |

$W$  est en daN si  $s$  et  $A$  sont en m<sup>2</sup>,  $u$  et  $v$  en m/s.

Les graphiques des figures 4 et 5 obtenus à la suite d'essais sur modèle réduit, donnent quelques résultats concernant le passage d'un convoi à grand gabarit dans un canal trapézoïdal.

### 2.2.2 Tracé en plan

Il doit être conçu de façon à ce que les plus longs bâtiments susceptibles d'utiliser la voie en question puissent prendre les virages et également se croiser dans une courbe.

Cela impose (tableau 4) :

- des rayons de courbure en dessous desquels il ne faut pas descendre ;
- une surlargeur du chenal dans les courbes fonction du rayon de courbure.

Des précautions sont à prendre pour que le tracé du chenal soit compatible avec la sécurité de la navigation. Elles portent sur :

- les alignements à respecter à l'approche des ouvrages de franchissement ;
- des alignements entre les courbes successives ;
- des distances d'introduction des surlargeurs à l'entrée et à la sortie des courbes.

### 2.2.3 Protection des berges

Les berges du chenal navigable sont soumises à des sollicitations résultant des mouvements du plan d'eau. On distingue le batillage, battement du niveau du plan d'eau créé par le passage des bateaux, les ondes dues au fonctionnement des écluses ou au vent, et l'érosion due à l'écoulement du débit lorsqu'il s'agit d'une portion de rivière.

Suivant la nature des matériaux constituant la berge et l'amplitude des sollicitations, il convient de prévoir des protections de plus ou moins d'importance. Ces protections posent souvent un problème difficile d'insertion dans le site et l'on a pu reprocher aux aménageurs de « bétonner » les rivières.

Divers types de matériaux peuvent être utilisés. Ils sont naturels (enrochements par exemple) ou artificiels (complexes faisant appel aux géotextiles). Ils doivent pouvoir être revêtus de végétation afin de s'intégrer dans le paysage (figure 34 et § 2.4.1).

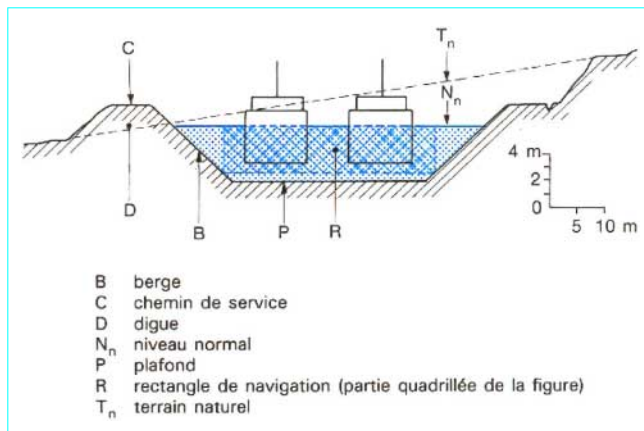


Figure 3 – Section transversale d'un canal

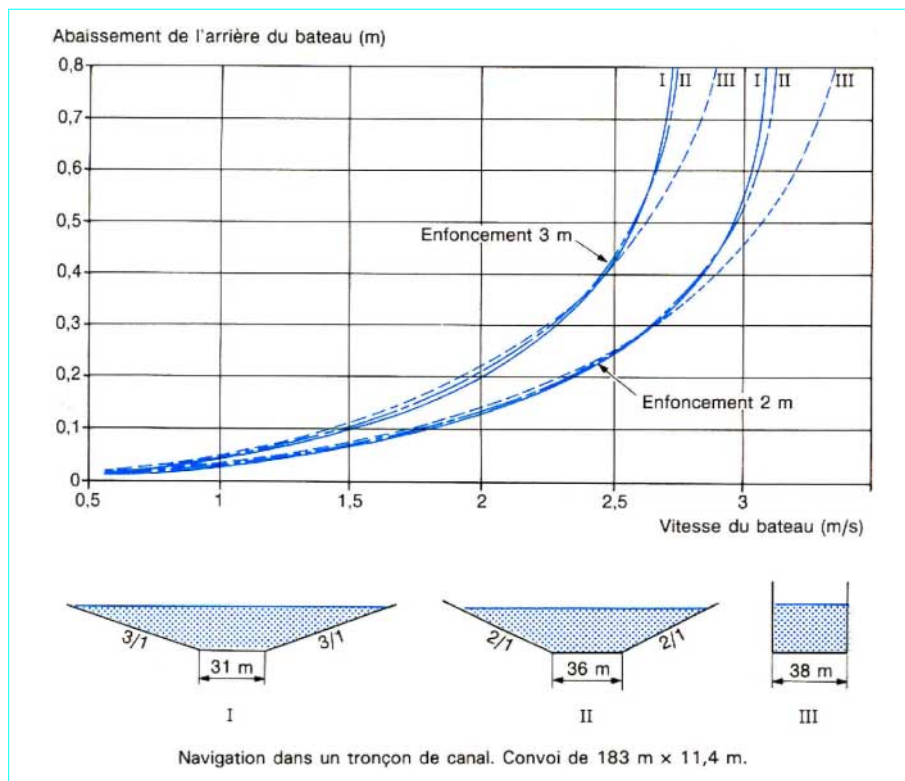


Figure 4 – Abaissement de l'arrière du bateau



La taille et l'épaisseur des couches d'enrochements dépendent des sollicitations et spécialement de la vitesse du courant. On emploie fréquemment :

- soit des enrochements 5/50 kg en 35 cm d'épaisseur (en canal) ;
- soit des enrochements 10/100 kg en 50 cm d'épaisseur (en rivière s'il y a des courants de crue importants de l'ordre de 3 m/s).

Différents types de géotextiles sont utilisés suivant leur fonction :

- comme filtre (genre Bidim) ou drain ;
- comme enveloppe (matelas de protection type gabion) dans le cas où l'on ne dispose pas d'enrochements suffisamment gros ;
- comme protection temporaire (genre toile de jute biodégradable) en attendant la pousse de végétation et la consolidation de la berge par les racines.

Si le plan d'eau de la canalisation est à un niveau supérieur à celui de la nappe phréatique, et si le terrain naturel n'est pas suffisamment imperméable, il peut être nécessaire d'étancher complètement la cuvette du canal par un revêtement imperméable.

Dans le cas de berge verticale, il faut réaliser un véritable mur de soutènement en béton, béton armé ou palplanches.

## 2.2.4 Ouvrages divers

### 2.2.4.1 Souterrains

Pour diminuer le nombre de biefs nécessaires au franchissement des seuils entre deux bassins versants, il peut être nécessaire d'avoir recours à un passage en souterrain.

Généralement, il est suffisant de réaliser un souterrain à voie unique avec une alternance de navigation réglementée par des feux, et des garages de stationnement aux abords.

Il est souhaitable que le temps de parcours en souterrain soit inférieur à celui d'un éclusage pour qu'il ne devienne pas un ouvrage limitant le débit de la voie.

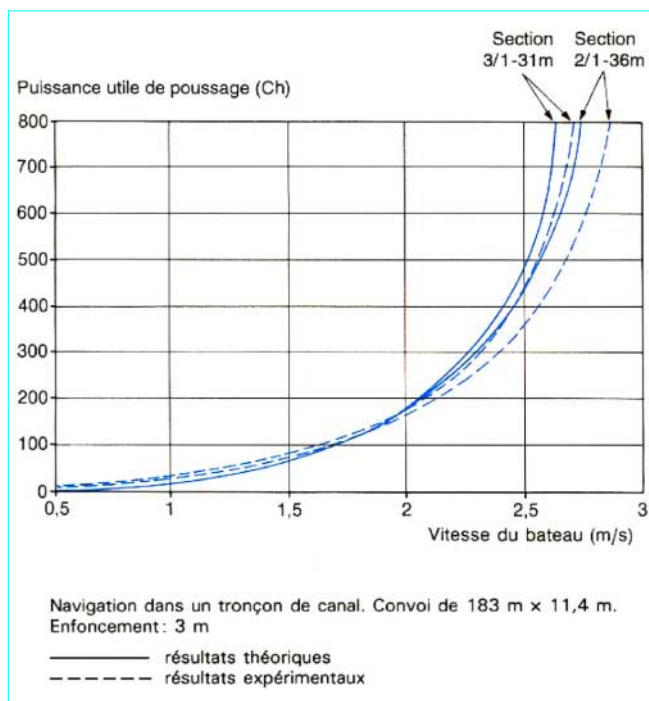


Figure 5 – Puissance utile de poussage

La section mouillée doit être choisie de manière à ne pas trop diminuer la vitesse des convois, compte tenu de l'abaissement dynamique du bateau et de l'importance du courant de retour (figure 6).

Le guidage des bateaux est obtenu au moyen de lisses en bois ou en métal.

Dans les souterrains de longueur supérieure à 1 km, il est utile de prévoir une ventilation. C'est le cas du souterrain de Ruyaulcourt sur le canal du Nord d'une longueur de 4 650 m (débit d'air frais 260 m<sup>3</sup>/s).

Pour améliorer la capacité de trafic d'un souterrain de grande longueur, on peut prévoir une zone centrale de croisement (cas de Ruyaulcourt) ou un deuxième souterrain parallèle.

### 2.2.4.2 Ponts canaux

Lorsque le canal de navigation doit franchir un cours d'eau important, il faut construire un pont canal. On cherche généralement à conserver une section voisine de la section normale du canal (sur le canal Main-Danube : 36 m x 3,50 m). Les ponts-canaux sont ainsi des ouvrages très lourds et très onéreux.

### 2.2.4.3 Rétablissement de communication

Les ponts nécessaires au rétablissement des communications doivent être conçus pour dégager les gabarits réglementaires au-dessus des plus hautes eaux navigables.

Lorsque la largeur de la voie navigable interdit le franchissement par un ouvrage d'une seule travée, il faut prévoir des piles en rivière ou en canal, qui sont exposées au choc des bateaux.

Le calcul d'une pile et de sa fondation doit donc tenir compte des efforts dus à un tel choc. Il est admis actuellement que celui-ci peut être assimilé à une force de 10 000 kN en cas de choc frontal et de 2 000 kN en cas de choc latéral sur les voies à grand gabarit, et de 1 200 kN en cas de choc frontal et de 240 kN en cas de choc latéral sur les voies à petit gabarit.

On peut aussi prévoir, en avant des piles, des dispositifs de protection constitués de caissons de palplanches ancrés dans le sol et remplis de gravier compacté.

Dans de rares cas on peut prévoir un pont mobile que l'on ouvre au passage des bateaux. Mais une telle solution entraîne une gêne importante à la fois pour les voies de communication et pour la voie navigable. Son coût d'exploitation est également élevé.

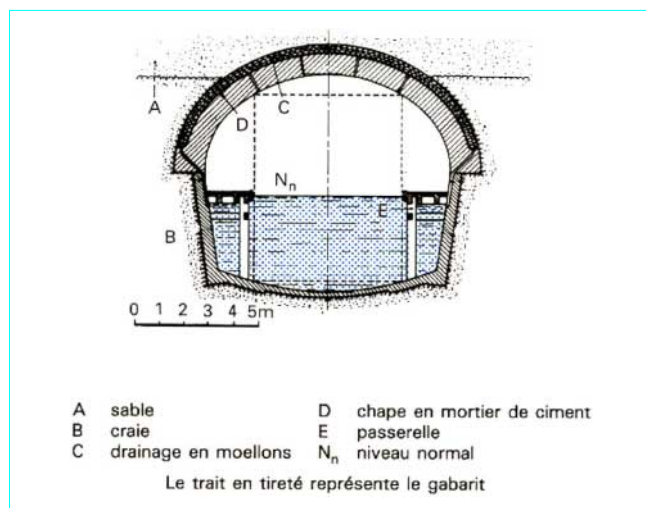


Figure 6 – Souterrain

## 2.2.5 Balisage et signalisation

Ils sont destinés à permettre aux usagers de la voie d'eau de naviguer en toute sécurité. Leur but est donc :

- de matérialiser le chenal navigable ;
- d'indiquer les particularités de la voie (zone rétrécie, passes navigables sous les ponts, ouvrages divers...) ;
- de donner aux navigants des informations sur les diverses possibilités telles que zones de stationnement possible, distances, profondeur, tirant d'air sous les ponts.

Outre les panneaux de signalisation qui sont implantés soit sur les berges soit sur les ponts, il est fait appel aux bouées flottantes et aux espars.

Pour la navigation de nuit les balises sont réflectorisées. Pour la navigation au radar, elles doivent comporter des réflecteurs radar passifs.

## 2.3 Ouvrages de retenue et de franchissement

### 2.3.1 Barrages et seuils

Ils sont donc destinés à relever le niveau des lignes d'eau. Les barrages fixes ou seuils ont l'inconvénient de relever non seulement les niveaux d'étiage mais aussi les crues ; on leur préfère le plus souvent les barrages mobiles qui permettent de régler les niveaux et les débits avec une bonne précision.

#### 2.3.1.1 Seuils

Les seuils sont des barrages déversants en toutes circonstances. Ce sont des ouvrages fixes qui ont en général une hauteur très modeste pour que leur impact sur les niveaux de crues reste modéré. Ils peuvent être réalisés avec différents types de matériaux (maçonneries, béton, béton compacté au rouleau, enrochements...).

Leur niveau et leur longueur sont déterminés par un calcul hydraulique simple en fonction du débit. Le fonctionnement hydraulique d'un tel ouvrage doit être vérifié pour toute la gamme de débits pouvant transiter par-dessus.

Dans la conception d'un seuil il convient de prévoir un écran d'étanchéité afin d'éviter le contournement de l'ouvrage. Cet écran doit s'ancrer dans les berges de façon à éviter tout risque de destruction par érosion latérale. Il faut également veiller aux risques d'érosion régressives. En effet, l'énergie dissipée par la rivière au droit du seuil peut créer des désordres à l'aval de l'ouvrage. L'énergie qui est proportionnelle au débit et à la dénivellée entre l'amont et l'aval du seuil est souvent maximale pour des débits intermédiaires entre les débits courants et les débits de crues. Des essais sur modèle physique permettent d'examiner le comportement de l'ouvrage dans les différentes configurations possibles et la tenue des matériaux de protection aval (figure 7).

La réalisation du seuil en enrochements, augmentant la rugosité, favorise la dissipation d'énergie, mais il faut veiller à ce que les arbres entraînés par le courant n'arrachent pas les enrochements, ce qui oblige à les sceller au béton (figure 8).

Sur les voies modernes, ce type d'ouvrage n'est en général pas utilisé pour créer une retenue navigable, mais seulement pour maintenir des niveaux servant à contrôler des nappes phréatiques. En effet, la faible dénivellation admissible est difficilement compatible avec une voie moderne qui nécessite des tirants d'eau importants et le plus petit nombre d'écluses possible, donc de grandes dénivellées.

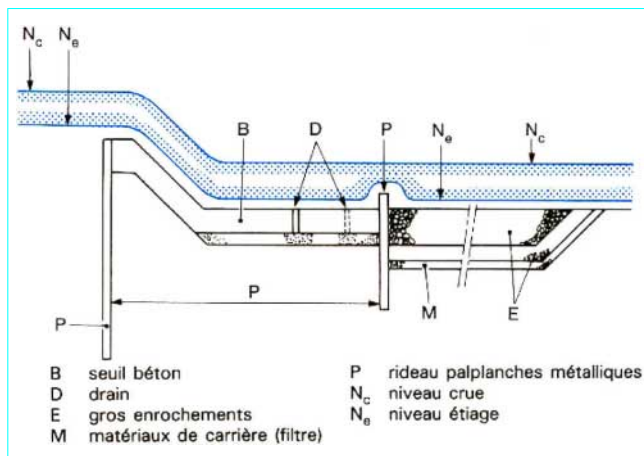


Figure 7 – Seuil béton

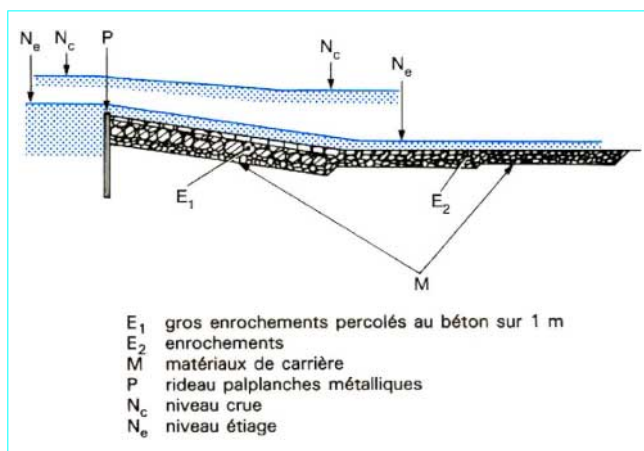


Figure 8 – Seuil d'enrochements

#### 2.3.1.2 Barrages mobiles à petits éléments

##### ■ Barrages à fermettes et à aiguilles

Les aiguilles en bois ou en métal de section carrée (de l'ordre de 10 cm × 10 cm) sont appuyées sur des cadres métalliques (fermettes) (figure 9) qui sont articulés à leurs pieds et peuvent se rabattre au fond de la rivière une fois les aiguilles enlevées pour effacer complètement le barrage. La manœuvre d'un tel ouvrage est longue et dangereuse. Cette technique, qui fut l'une des premières utilisées, est aujourd'hui abandonnée.

##### ■ Barrages à vannettes et à cadre

Des petites vannettes sont glissées dans des cadres métalliques relevables à partir d'un pont. Technique aussi abandonnée.

##### ■ Barrages à hausses

Chaque panneau ou hausse de 1 à 2 m de largeur est maintenu par un chevalet articulé sur le panneau et appuyé sur le radier. Différents points d'appui permettent de régler la position de chaque hausse. Différents procédés de manœuvre ont été conçus. Les plus récents, dus à M. Aubert, comportent soit un bras articulé monté sur un chariot, soit un système de vérin coulissant (figure 10).

Il faut citer notamment le barrage de Denouval sur la Seine où la bouchure et ses organes de manœuvre ont été fixés en usine sur une enveloppe métallique creuse ; ce montage effectué, l'ensemble a été transporté par flottaison sur le site du barrage, puis bloqué par du béton coulé sous l'eau entre le radier métallique, le sol et deux rideaux de palplanches formant parafouille à l'amont et à l'aval.

Malgré quelques avantages, ces types de barrages ne sont plus guère utilisés car leur exploitation est difficile.

### 2.3.1.3 Barrage en caoutchouc

C'est un ouvrage constitué par un boudin en caoutchouc armé de *Nylon*, solidement ancré dans la fondation. Il peut être gonflé soit à l'eau, soit à l'air. L'eau a d'abord été utilisée à cause de sa masse antioscillatoire ; la mise au point de mesures antioscillatoires spécifiques, notamment la présence d'une nervure sur le corps du barrage, permettent, avec le gonflage à l'air, de simplifier les équipements et de diminuer le temps de gonflage et de dégonflage (figure 11).

Les problèmes les plus délicats concernent la résistance du matériau au déchirement et au vieillissement.

Il semble qu'on puisse réaliser des bouchures gonflables de très grande longueur (100 m), ce qui permet de diminuer le nombre de piles et l'importance des superstructures. Les hauteurs utiles sont de l'ordre de 2 à 3 m (exceptionnellement 4 m).

### 2.3.1.4 Barrage mobile à grands éléments

En général, ce type de bouchure nécessite des piles intermédiaires mais la largeur des passes peut aller jusqu'à 60 m.

La manœuvre de tels organes est rapide et simple. Elle peut être entièrement automatisée. C'est aussi la forme la plus courante des barrages modernes.

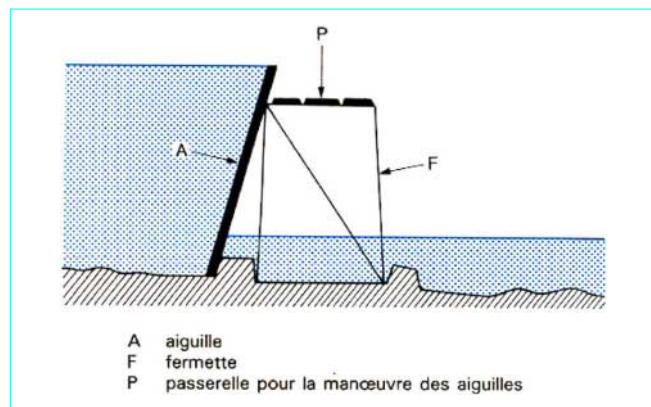


Figure 9 – Barrage à fermettes

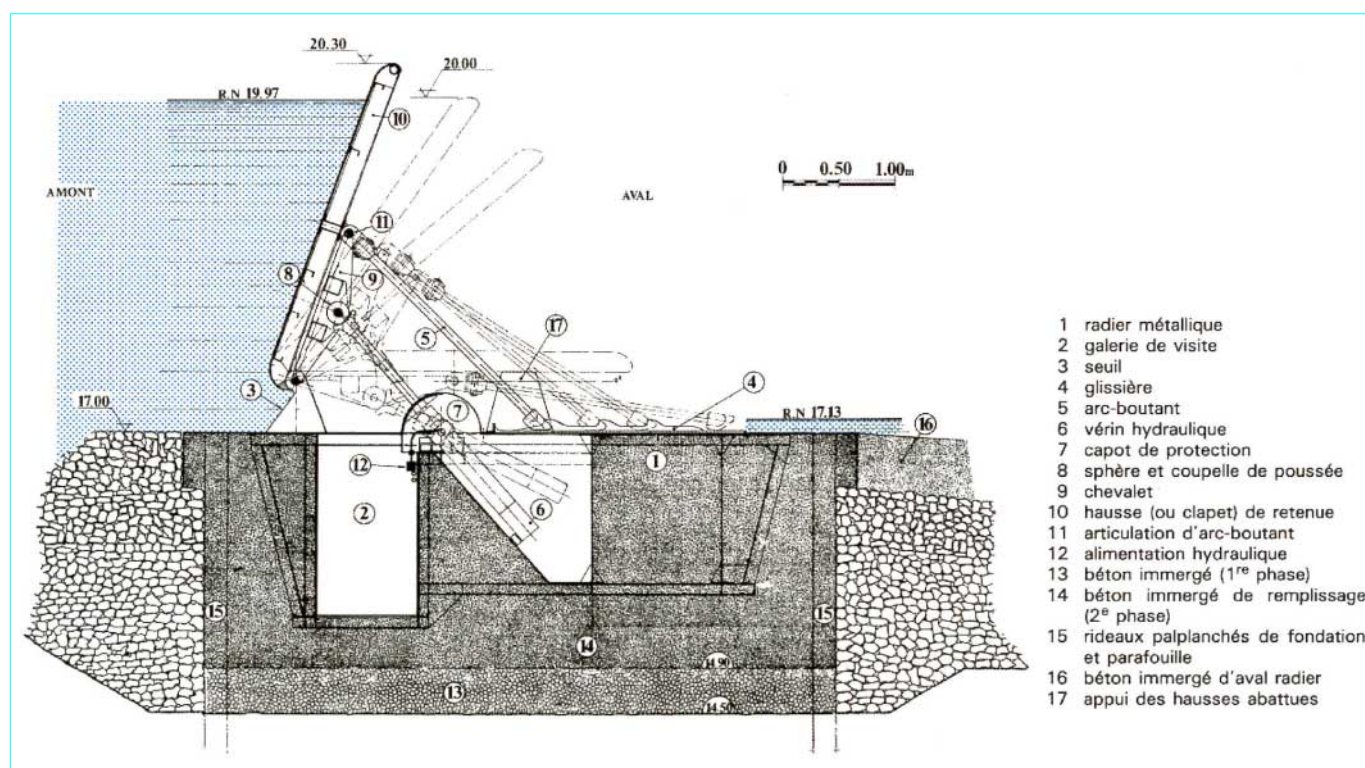


Figure 10 – Barrages à hausses



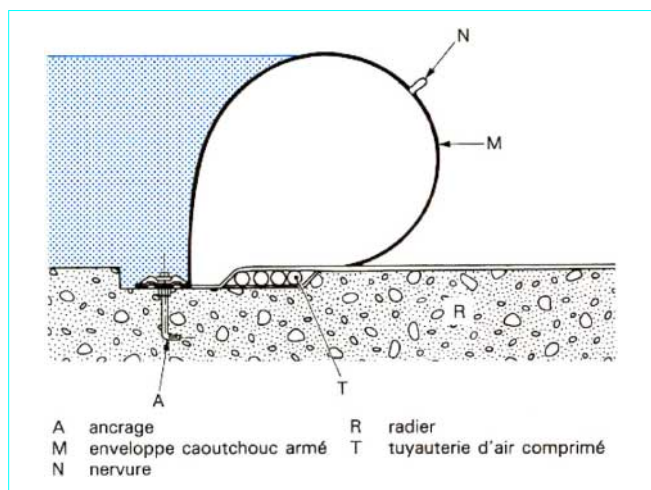


Figure 11 – Barrage gonflable

### ■ Vannes levantes

Le réglage du débit se fait en soulevant plus ou moins la vanne. On utilise en général des vannes à deux corps qui permettent de faire passer l'eau par-dessus ou par-dessous. La reprise des efforts se fait dans les rainures où coulisse la vanne ce qui nécessite des rainures profondes et donc des piles épaisses. Les mouvements sont en général assurés par des chaînes Galle. Elles sont intéressantes pour les grandes hauteurs de chute (figure 12).

### ■ Vannes clapets

Elles sont constituées par une structure métallique en général profilée articulée à sa base et manœuvrée soit par des vérins soit par des treuils. L'écoulement se fait par déversement supérieur ; en position effacée, le clapet est couché dans une fosse du radier. C'est une solution économique jusqu'à des portées de 30 m et des hauteurs de bouchures de 5 m (figure 13).

Le clapet d'obturation de la nouvelle passe navigable de Donzère est une exception car, d'utilisation épisodique (grandes crues), il est remarquable par ses dimensions (60 × 8,35 m) et il est articulé au sommet des culées et manœuvré par vérins hydrauliques. Il se relève au-dessus du tirant d'air en position ouverte, et s'appuie sur les culées par l'intermédiaire de boutons coulissants en position fermée.

### ■ Vannes secteurs

Elles sont constituées par une structure métallique comportant un bras articulé et s'effaçant dans le radier. Ce type d'ouvrage nécessite un radier très important et donc onéreux (figure 14).

### ■ Vannes segments

De structure voisine de celle des vannes secteurs, elles en diffèrent du fait que la vanne s'élève au lieu de s'effacer dans le radier. Elles sont le plus souvent surmontées par un clapet qui facilite le réglage du niveau, l'évacuation des corps flottants et celle des glaces. Ces vannes sont d'une grande robustesse et d'un entretien facile. Elles sont économiques pour des hauteurs de bouchure de 10 à 15 m et des portées d'environ 20 m (figure 15).

Le bordé de la vanne est en général vers l'amont, mais au barrage de Champagnieux sur le Rhône, comme sur la liaison Main-Danube, on a utilisé des vannes segments inversées dont les bras se situent

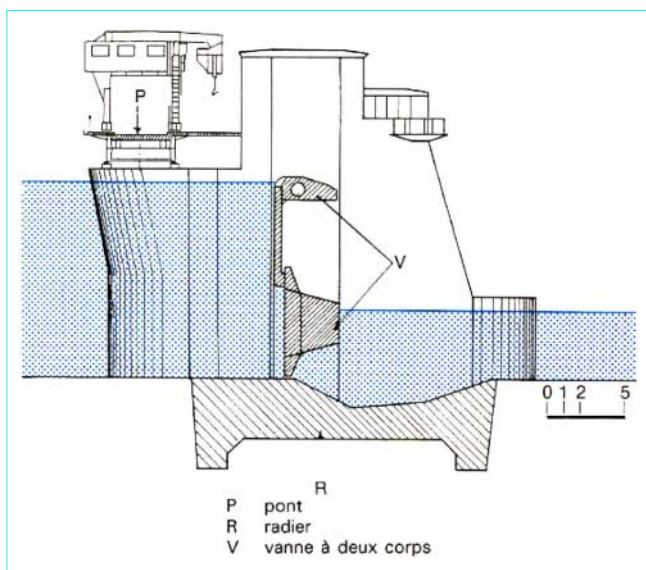


Figure 12 – Vanne wagon à deux corps

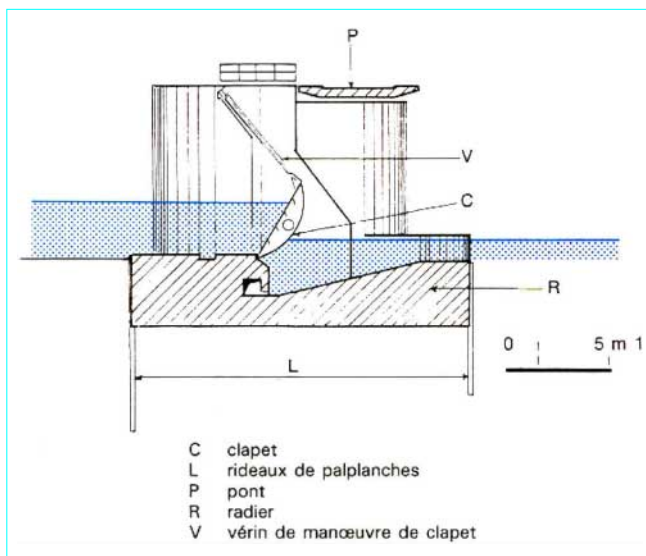


Figure 13 – Vanne à clapet

à l'amont et le bordé à l'aval, ce qui permet de reporter les efforts de poussée de l'eau à l'amont des piles (figure 16) et de faire travailler les matériaux constitutifs (béton et acier) dans de meilleures conditions. Toutefois l'entretien des vannes est moins facile.

### ■ Autres types de bouchures

Il existe d'autres types de vannes qui en sont guère utilisées, telles que les vannes cylindres ou les vannes toit.



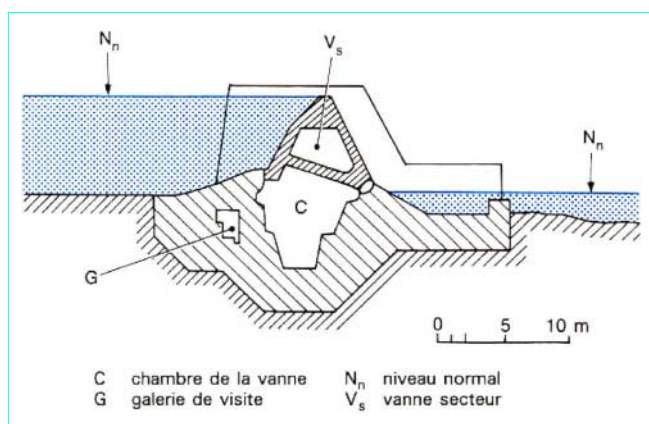


Figure 14 – Vanne secteur

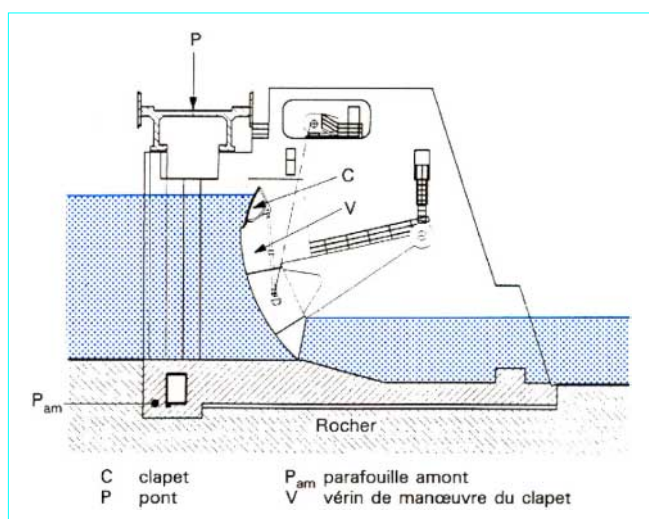


Figure 15 – Vanne segment avec clapet de réglage

### 2.3.1.5 Études et réalisation d'un barrage

#### Aspects hydrauliques

Il faut tout d'abord dimensionner le barrage afin de permettre l'écoulement de la crue de projet sans aggravation de niveau en prenant comme hypothèse qu'au moins une vanne est hors d'état de fonctionner. Pour cela des calculs hydrauliques sont nécessaires. On utilise le plus souvent la formule de De Marchi :

$$Q = \phi L h_v \sqrt{2g(H_{am} - h_{av})}$$

avec  $Q$  (m<sup>3</sup>/s) débit,  
 $\phi$  coefficient de contraction (environ 0,90),  
 $L$  (m) ouverture du barrage,  
 $h_{av}$  hauteur du plan d'eau au-dessus du seuil à 300 m en aval du barrage,  
 $H_{am}$  (mCE) charge au-dessus du seuil à 100 m en amont du barrage.

Il convient parfois de les vérifier sur un modèle physique et de contrôler un certain nombre de points tels que :

- la débitance des différentes passes ;
- la bonne alimentation des différents ouvrages ;

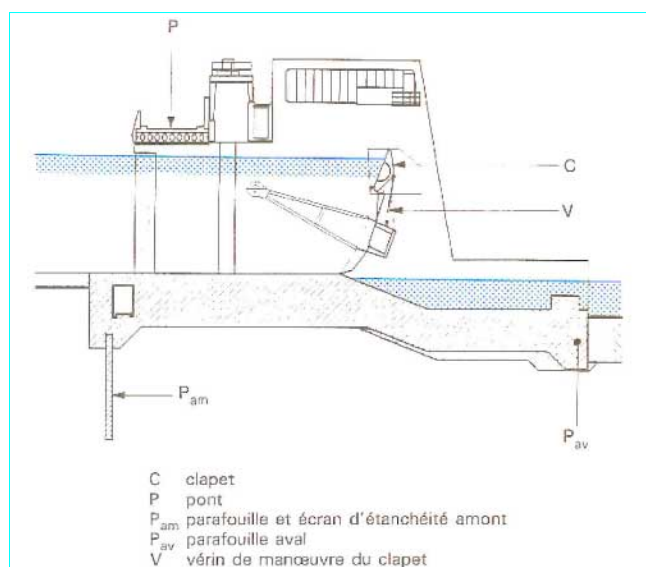


Figure 16 – Barrage à vannes segments inversées

- la dissipation d'énergie à l'aval du barrage ;
- la protection des berges et du fond contre l'érosion.

#### Aspects hydrogéologiques

Il faut évidemment déterminer la nature et les caractéristiques du sol de fondations afin de voir quel type de fondation il y a lieu de prévoir. Il faut veiller au contrôle de la sous-pression sous le radier du barrage, soit en réalisant une étanchéité à l'amont et un drainage, soit en disposant d'un poids suffisant pour encaisser la pression amont jusqu'au parafouille aval, soit en solidarissant l'ouvrage avec sa fondation rocheuse au moyen d'une série d'ancrages métalliques scellés dans le substratum et le radier.

#### Aspects structuraux

En fonction des études énoncées ci-avant, il est alors possible de choisir le type d'ouvrage à réaliser. Le choix du type de bouchure et de la largeur des passes résulte en général d'une optimisation économique tenant compte des problèmes d'entretien et d'exploitation. Très généralement il s'agit de clapets ou de segments.

## ■ Dispositions constructives

À l'origine, les barrages étaient construits en rivière par éléments successifs. Les piles étaient réalisées à l'air comprimé et les radiers grâce à des batardeaux entre deux piles. Actuellement, on réalise autant que possible les barrages en une seule phase sur la rive et l'on dévie ensuite la rivière pour la faire passer dans le barrage en obturant son lit, au moment de la coupure du débit, par une digue. Cette formule s'avère à la fois plus rapide et plus économique.

## 2.3.2 Écluses

### 2.3.2.1 Dimensionnement

Les dimensions des écluses doivent être adaptées au type de bateau admis sur la voie. Elles sont fixées par les normes (tableau 4).

Le mouillage dans l'écluse (profondeur d'eau sous le niveau aval) doit être supérieur d'au moins 1,20 m au tirant d'eau des plus gros bateaux de façon à éviter :

- un pistonnement excessif à l'entrée et à la sortie des bateaux ;
- les risques de talonnement au moment de l'ouverture et de la fermeture des vannes de remplissage et de vidange, et au démarrage du bateau.

### 2.3.2.2 Génie civil

Les dispositifs types sont indiqués sur la figure 17.

Il existe trois types de structures pour les bajoyers :

- bajoyers autostables avec radier indépendant ;
- section courante en forme de U en béton armé (figure 18) ;
- bajoyers en palplanches métalliques ou en parois moulées préfabriquées avec ou sans tirants (figure 19).

Le choix est à faire en fonction des conditions géologiques et du système d'alimentation du sas. Les palplanches métalliques ont l'inconvénient d'être sensibles aux chocs des bateaux.

Il peut arriver que la médiocrité du terrain de fondation oblige à réaliser une véritable consolidation de celui-ci avant de construire l'ouvrage. C'est ainsi que, avant la construction de l'écluse de Saint-Gilles sur le canal du Rhône à Sète, il a fallu améliorer la résistance au cisaillement du terrain, constitué d'argiles et de silts non consolidés, en le chargeant par des remblais provisoires de 4 à 10 m de hauteur, sur une superficie d'environ 3 fois celle de la fondation proprement dite. Ce chargement était accompagné d'un drainage par pieux de sable.

### 2.3.2.3 Portes d'écluses

#### ■ Portes busquées

Ce sont des portes à deux vantaux qui pivotent chacun autour d'un axe vertical et viennent s'appuyer l'un sur l'autre (figure 20).

C'est la solution la moins chère pour les faibles hauteurs de chute. La manœuvre est assurée généralement par vérin hydraulique.

#### ■ Portes abaissantes et levantes

Elles sont analogues aux vannes levantes des barrages mobiles.

La porte abaissante est utilisée comme porte amont lorsque la hauteur de chute est suffisante pour lui permettre de s'effacer dans le sas en position ouverte (figure 17). La porte levante est souvent utilisée comme porte aval, surtout lorsque la partie supérieure de la bouchure peut être constituée par un masque fixe en béton armé, c'est-à-dire pour les grandes hauteurs de chute. Ces portes comportent, en principe, des contrepoids destinés à diminuer l'importance des efforts de manœuvre (figure 21). Elles sont généralement guidées par des galets escamotables.

L'immersion des portes baissantes, en position ouverte, a l'avantage de les mettre à l'abri du gel, mais les rend invisibles aux marins et augmente les risques de choc des bateaux.

## ■ Portes coulissantes

Elles sont intéressantes pour les hauteurs de chutes comprises entre 10 m et 20 m ; elles présentent des avantages concernant l'entretien puisque, en position ouverte, la porte s'efface dans une enclave ménagée dans les bajoyers. En outre, elles offrent l'avantage de ne pas nécessiter des superstructures. Comme les portes levantes, elles sont guidées par des galets escamotables, qui leur permettent de se plaquer sur les appuis sous l'effet de la charge.

Il en existe deux types.

— **Porte coulissante suspendue** (à un ou deux vantaux) : ce type de porte est suspendu à un chariot moteur qui roule sur deux poutres traversant le sas (figure 22). Il n'est utilisable que si la chute est suffisamment haute pour dégager le tirant d'air nécessaire au passage des bateaux.

Si la porte est à un seul vantail, celui-ci s'appuie sur les bajoyers comme une porte levante. Si la porte est à deux vantaux, ceux-ci s'appuyent sur la poutre qui traverse le sas et sur le seuil.

La porte à deux vantaux permet d'avoir des garages plus petits s'intégrant plus facilement dans les bajoyers.

— **Porte coulissante de type brouette** : ce type de porte permet d'éviter la construction d'une poutre support en travers du sas ; il est utile pour les portes amont et aussi pour les portes aval si la poutre support ne peut dégager le tirant d'air.

La porte est supportée par un chariot moteur qui roule au-dessus du garage, et un chariot immergé qui roule dans une rainure prévue dans le seuil (figure 23). De par sa conception, elle offre une moindre sécurité en cas de fausse manœuvre (en charge) puisqu'un faible effort permet de la dégager de son appui latéral, et qu'à partir de ce moment elle travaille en porte à faux.

D'autres types de portes existent tels que portes à clapet abaissant, porte secteur à axe vertical, portes vannes segments à axe horizontal, mais elles sont d'un usage moins fréquent.

### 2.3.2.4 Batardelement. Coupure du débit

Il est nécessaire de prévoir sur les écluses importantes un organe permettant de couper le débit en cas d'avarie grave sur une porte. Cet organe peut être formé soit par l'une des portes d'exploitation, conçue pour être manœuvrable en charge, soit par un batardeau constitué d'éléments de faible hauteur pouvant être mis en place dans le courant, dans des rainures spécialement aménagées à cet effet.

### 2.3.2.5 Protection des portes contre les chocs des bateaux

#### ■ Câble tendu en travers du sas

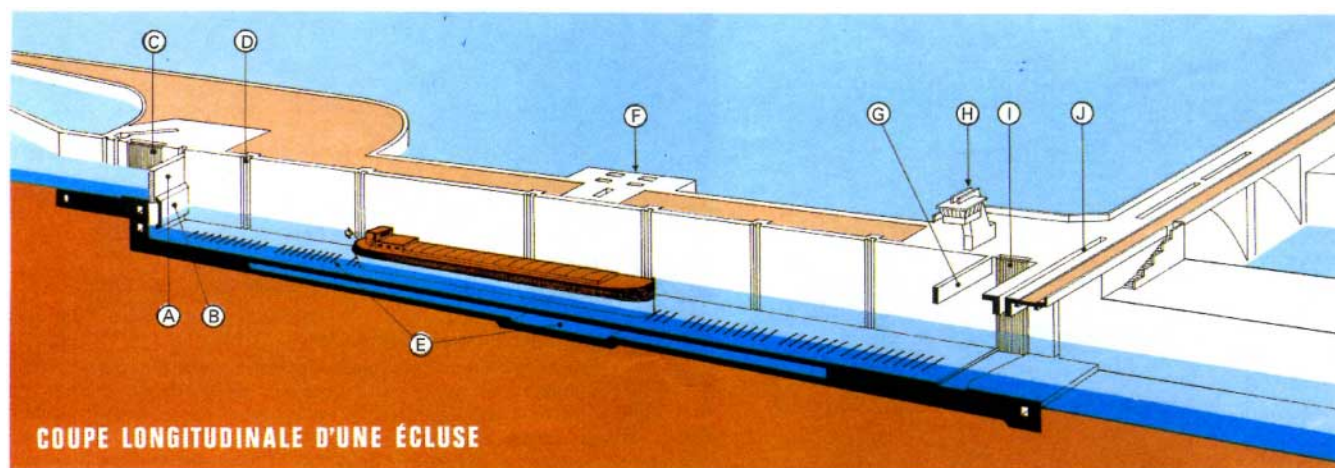
Lorsque la porte est fermée, ce câble est maintenu à un niveau voisin du plan d'eau ; il doit s'escamoter vers le fond pour permettre l'entrée des bateaux dans l'écluse.

L'énergie du choc du bateau (de l'ordre de 1 MJ) est dissipée dans des vérins. La course d'amortissement d'un tel dispositif est de 5 à 6 m.

#### ■ Pare-chocs

Un pare-chocs est constitué d'une charpente installée en travers du sas et montée sur des dispositifs amortisseurs. Ce type de protection est nécessaire en amont de la porte aval car sa course d'amortissement est faible (< 1,5 m), et évite un allongement coûteux du sas. L'énergie qui peut être absorbée est de l'ordre de 4 MJ pour une écluse de 12 m de large.

Devant la porte aval d'une écluse de faible hauteur de chute, il faut installer un pare-chocs relevable.



- A porte amont abaissante
- B masque de protection de la porte amont
- C porte busquée
- D rainure pour bollard flottant
- E aqueducs et puits de remplissage et vidange

- F bloc d'alimentation
- G pare-choc aval
- H cabine de commande
- I porte aval busquée
- J rainure porte aval coulissante



Éclusage d'automoteurs et de plaisanciers.



Éclusage d'un navire fluvio-maritime.

Figure 17 – Dispositif type d'une écluse



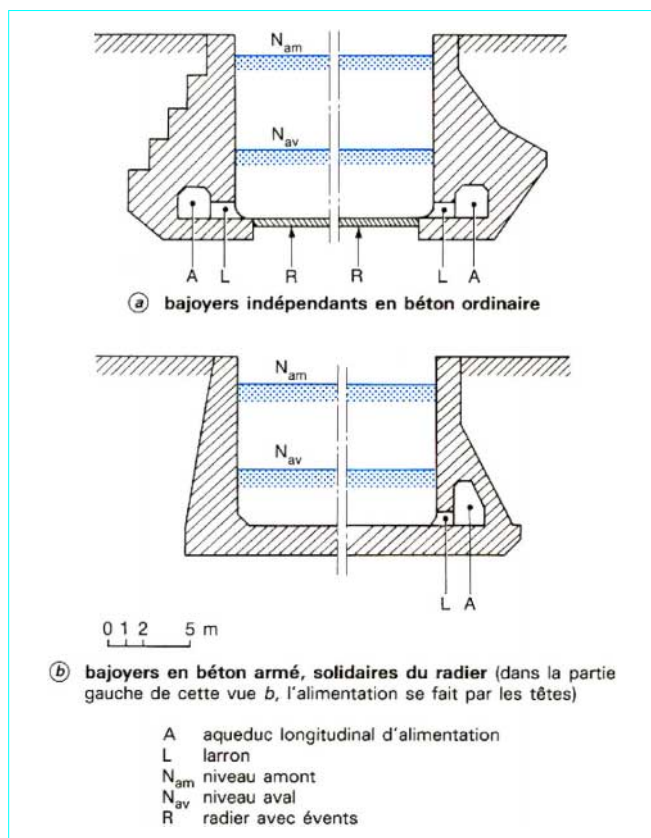


Figure 18 – Bajoyer en béton

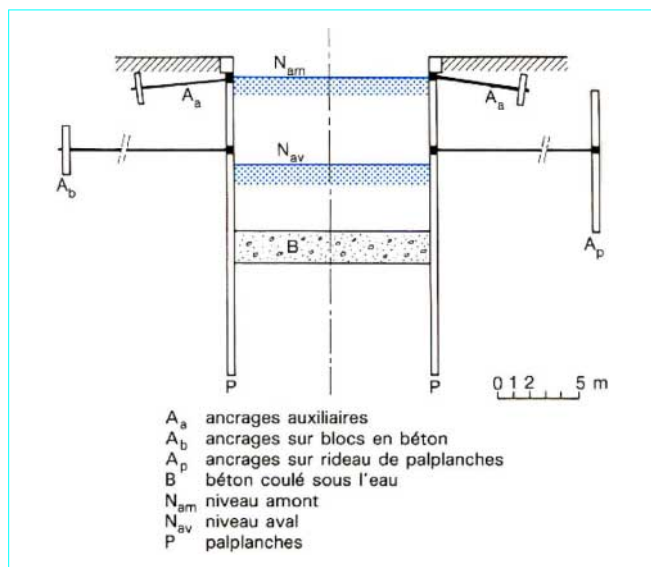


Figure 19 – Bajoyer en palplanches métalliques

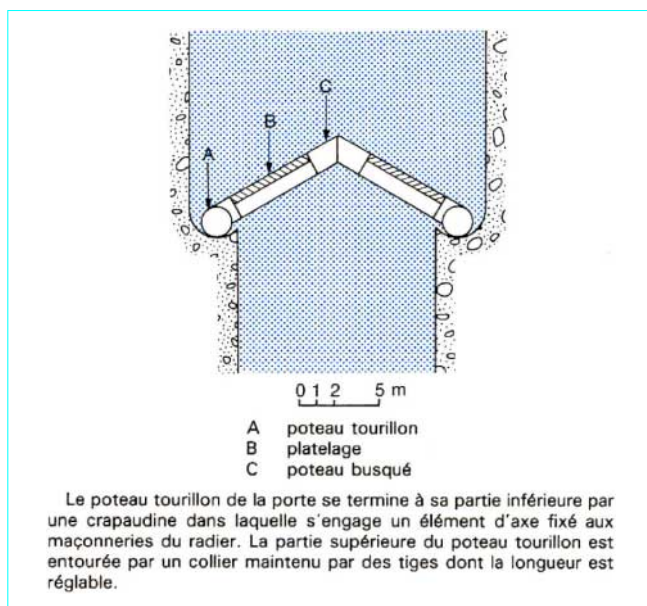


Figure 20 – Porte busquée

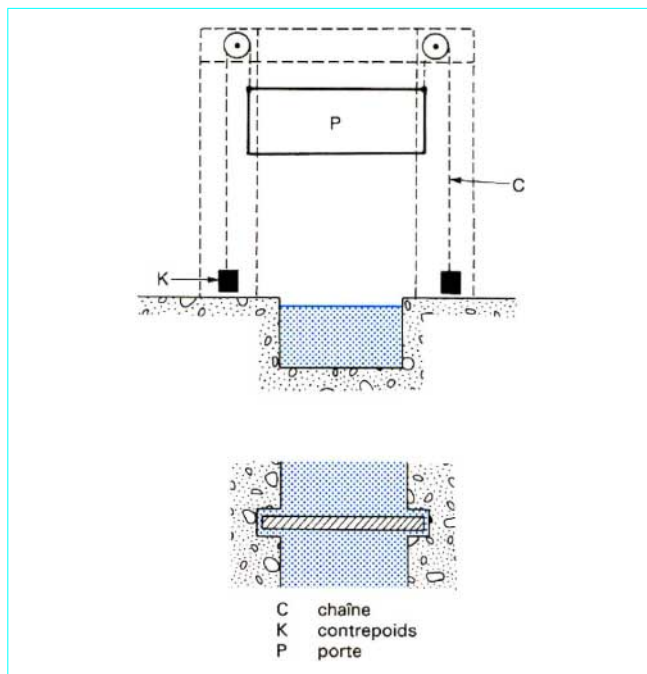


Figure 21 – Porte levante

### 2.3.2.6 Dispositifs d'alimentation et de vidange

#### ■ Ventelles dans les portes

C'est le dispositif le plus simple. Il est constitué par des orifices traversant les portes et fermés par de petites vannes appelées ventelles. Il est utilisé dans le cas de portes busquées lorsque la chute est faible et que le volume d'eau à fournir n'est pas trop important.



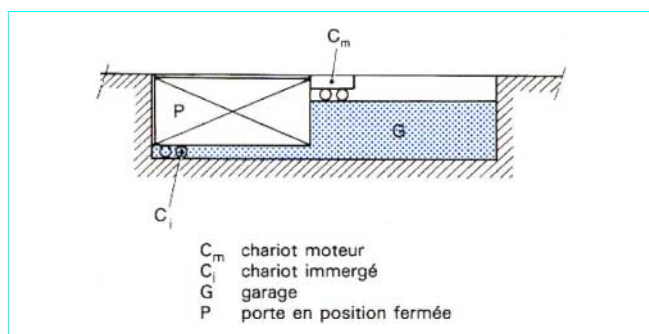
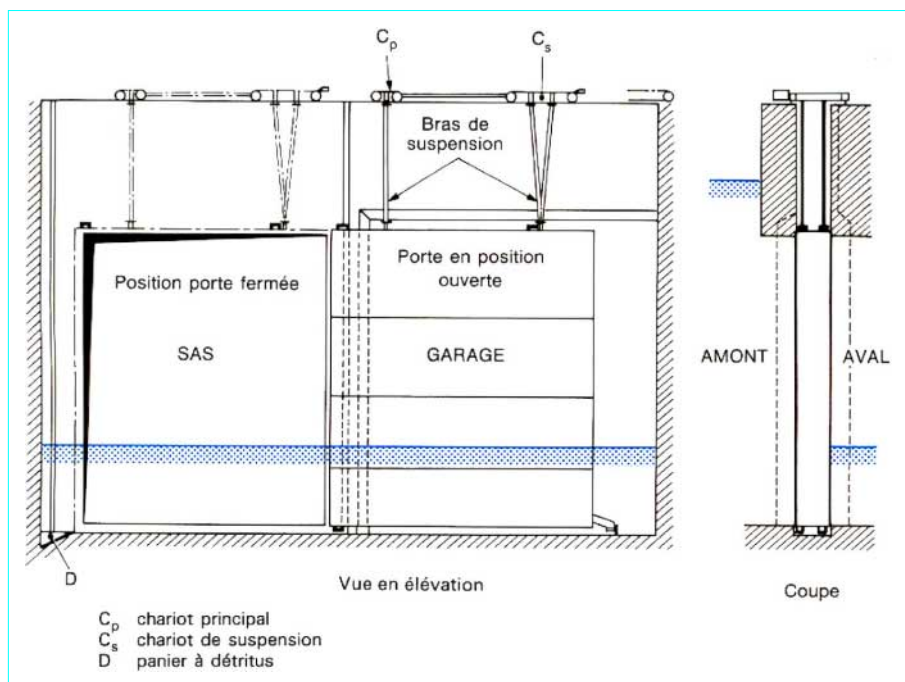


Figure 23 – Porte brouette

#### ■ Aqueducs dans les têtes

Ce dispositif comporte des aqueducs vannés contournant les portes (figure 24). Une chambre de dissipation d'énergie est souvent nécessaire au débouché dans le sas des conduits amont. Dans une grande écluse, cette solution est intéressante pour des hauteurs de chute comprises entre 5 et 8 m. Au-delà, elle conduit à une agitation gênante pour les bateaux amarrés dans le sas.

#### ■ Aqueducs larrons dans les bajoyers

Ces aqueducs débouchent dans le sas par de petites ouvertures, les larrons, qui permettent de répartir le débit sur toute la longueur du sas (figure 25). Ils nécessitent de donner une légère sur-profondeur au sas de manière à éviter que le jet des larrons ne frappe directement la coque des bateaux. Cette solution est valable sur les grandes écluses, entre 8 et 15 m de hauteur de chute.

#### ■ Remplissage et vidange par le fond du sas

Dans les écluses de grande hauteur (au-delà de 15 m), il faut que la distribution du débit et la dissipation d'énergie correspondante dans le sas soient parfaitement homogènes afin d'éviter la création d'ondes dangereuses pour l'amarrage des bateaux. Le principe de fonctionnement consiste à rendre sensiblement équivalents les

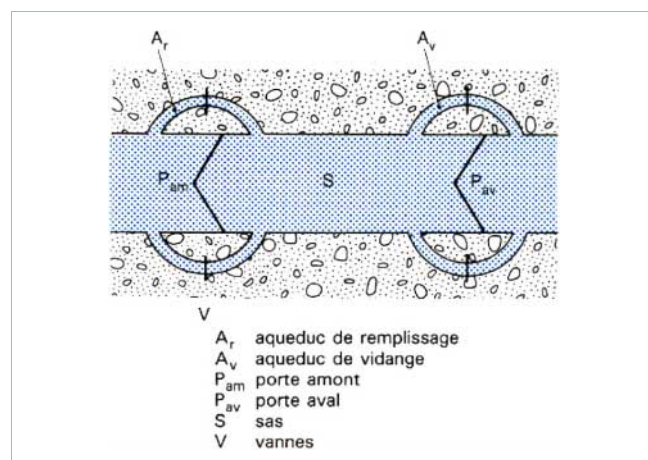


Figure 24 – Aqueduc de contournement des portes

temps de parcours de l'eau entre l'origine de l'alimentation et chaque orifice, en jouant sur les distances et les pertes de charges (figure 17).

Les vannes peuvent être soit des vannes planes levantes, soit des vannes segments ; si les vitesses sont importantes, la portion d'aqueduc proche des vannes doit recevoir un blindage. La vitesse de manœuvre des vannes, notamment au remplissage ne doit pas être trop rapide pour ne pas créer de turbulence dangereuse dans le sas. On étudie actuellement aux États-Unis un système de vanne rotative (à axe horizontal) permettant, suivant sa position, de mettre le sas en communication avec le bief amont ou avec le bief aval.

2.3.2.7 Durée du cycle remplissage-vidange

La durée d’un cycle complet d’éclusement est un paramètre déterminant de la capacité d’une voie navigable.

Elle peut être évaluée ainsi :

Opération	Durée (min)
Ouverture porte amont	2
Entrée du bateau dans le sas	8
Vidange du sas	10
Ouverture porte aval	2
Sortie du bateau	8
Durée du 1/2 cycle	30
Durée d’un cycle complet	60

Le seul élément sur lequel on puisse jouer facilement est la durée de remplissage ou de vidange du sas, qui dépend du nombre et de la dimension des vannes et de leur vitesse de manœuvre. Celle-ci est limitée par la nécessité d’éviter à la fois l’agitation et les balancements du plan d’eau du sas, dangereux pour l’amarrage des bateaux en cours d’éclusement, et de trop fortes intumescences dans les biefs adjacents.

La figure 26 montre le principe des échanges d’eau entre le sas et les biefs adjacents. L’application de l’équation fondamentale de la mécanique au tronçon compris entre le plan d’eau amont et l’amont immédiat de la vanne conduit à la relation :

$$z_{am} - z_1 = C_1 \frac{Q^2}{2gS_1^2} + \frac{L_1}{gS_1} \frac{dQ}{dt}$$
 (1)

La relation similaire (2) correspond au tronçon aval de la vanne, la section 2 étant située après le ressaut noyé :

$$z_2 - z_{av} = C_2 \frac{Q^2}{2gS_2^2} + \frac{L_2}{gS_2} \frac{dQ}{dt}$$
 (2)

avec  $z_1, z_2$  niveaux piézométriques dans les sections 1 et 2,  
 $C_1, C_2$  coefficients de pertes de charge linéaire,  
 $S_1, S_2$  sections des aqueducs à l’amont et à l’aval de la vanne

La perte de charge au passage de la vanne est représentée par l’expression :

$$z_1 - z_2 = \frac{Q^2}{2gS_0^2} \left[ \frac{1}{m\theta} - 1 \right]^2$$
 (3)

avec  $S_0$  surface totale de la vanne,  
 $\theta$  coefficient d’ouverture de la vanne,  
 $m$  coefficient de contraction au droit de la vanne ( $m = 0,6 + 0,4 \theta^2$ ).

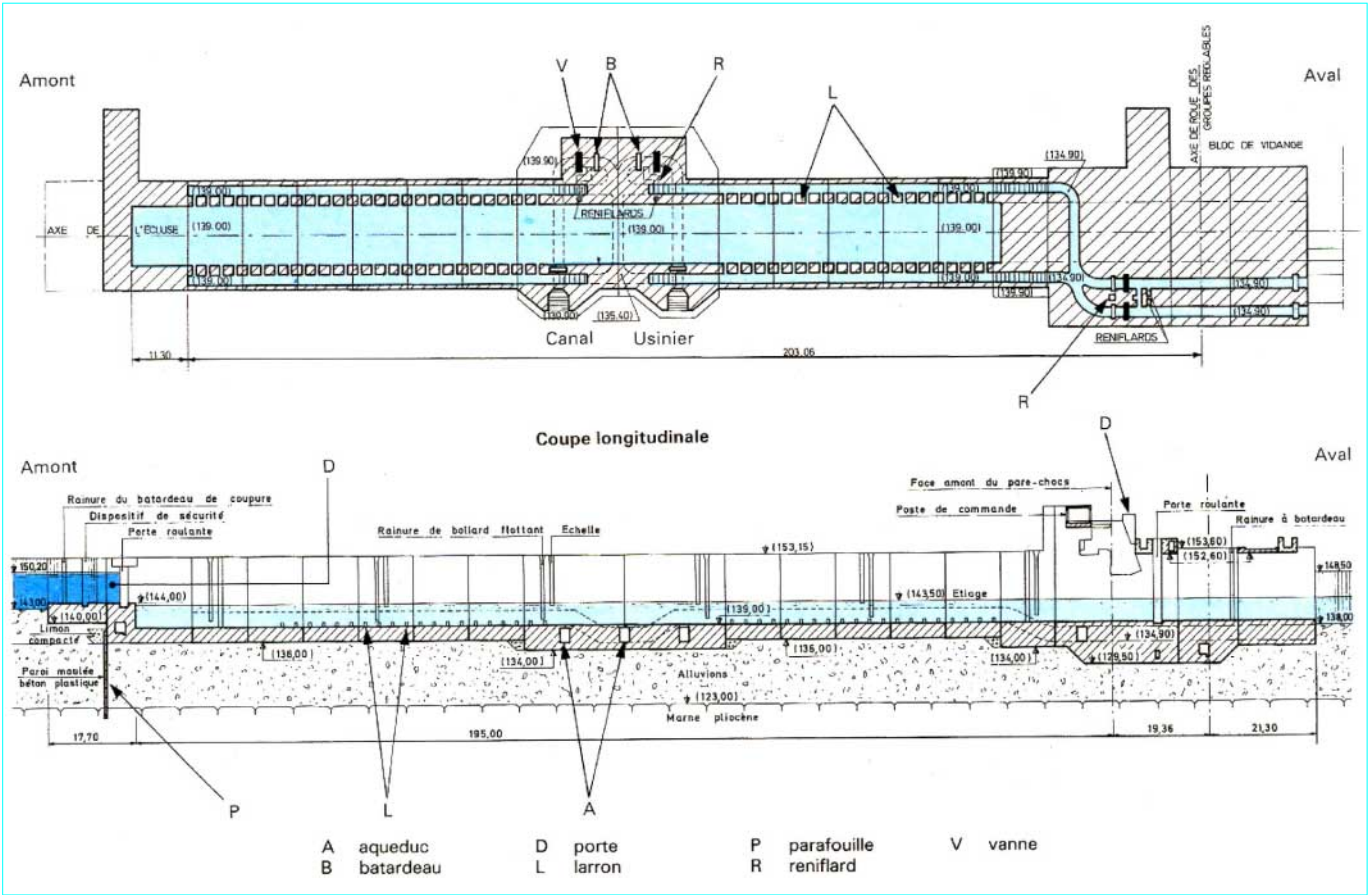


Figure 25 – Alimentation par larrons

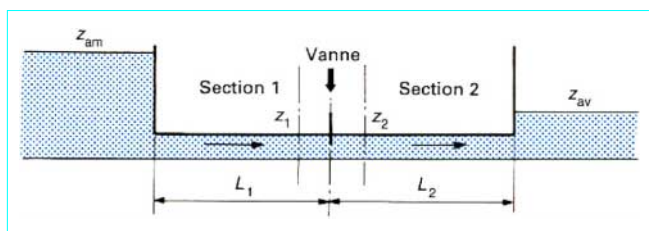


Figure 26 – Échanges d'eau entre sas et biefs adjacents

L'addition de ces trois relations conduit à l'équation :

$$z = z_{am} - z_{av} = \left[ \frac{C_1}{2gS_1^2} + \frac{C_2}{2gS_2^2} + \frac{1}{2gS_0^2} \left( \frac{1}{m\theta} - 1 \right)^2 \right] Q^2 + \frac{1}{g} \left[ \frac{L_1}{S_1} + \frac{L_2}{S_2} \right] \frac{dQ}{dt} \quad (4)$$

Les variations du niveau des plans d'eau amont et aval peuvent s'exprimer par l'équation :

$$\frac{dz}{dt} = -\frac{Q}{S} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{S} = \frac{1}{S_{am}} + \frac{1}{S_{av}} \quad (5)$$

Si l'un des plans d'eau est un bief, la surface correspondante  $S_{am}$  ou  $S_{av}$  est infinie.

On est donc conduit à l'intégration du système des deux équations différentielles (4) et (5), dont on peut déduire l'évolution du niveau  $z$  et du débit  $Q$  en fonction du temps  $t$ .

Les divers paramètres doivent être adaptés de manière à :

- minimiser la section des vannes et des aqueducs ;
- aboutir à des lois simples de manœuvre des vannes ;
- ne pas créer d'ondes supérieures à 0,30 m de hauteur dans les biefs adjacents ;
- ne pas dépasser 1/1 000 comme pente de la surface libre dans les biefs.

La figure 27 donne l'exemple du remplissage d'une écluse à grand gabarit (185 m × 12 m) de hauteur de chute moyenne (12 m).

#### ■ Manœuvre des convois

De toutes les manœuvres d'un convoi dans une écluse, c'est la sortie du sas par l'aval qui présente le plus de difficultés ; il règne une section réduite sur toute la longueur du bateau et l'abaissement provoqué par l'écoulement du courant de retour vient aggraver le déficit en eau de la zone située en arrière du convoi.

L'abaque de la figure 28, obtenu à la suite d'essais sur modèle réduit, pour un convoi de 183 m × 11,40 m, présente l'abaissement de l'arrière du convoi pour plusieurs combinaisons « mouillage-enfoncement » en fonction de la vitesse moyenne de sortie du sas.

#### 2.3.2.8 Commande de l'écluse

Elle se fait à partir d'un pupitre situé en un lieu d'où l'on voit l'ensemble de l'écluse. Ce pupitre comporte des boutons poussoirs de commande et un tableau synoptique indiquant la position des principaux organes.

Il existe trois modes de fonctionnement :

- **automatique** : un seul ordre donné au pupitre provoque l'enchaînement de toutes les opérations ;
- **pas à pas** : il faut donner un ordre après chaque opération élémentaire ;
- **local** : les organes de l'écluse sont commandés à partir de bornes situées à proximité des organes.

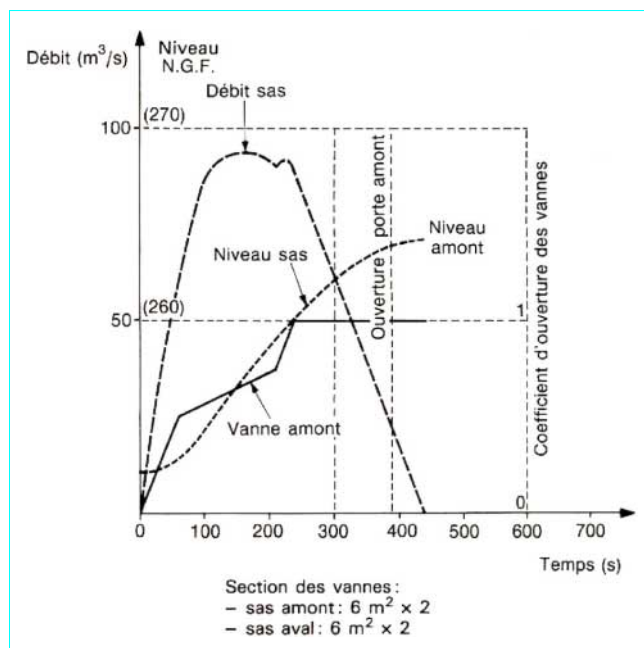


Figure 27 – Remplissage d'une écluse de 12 m de chute

Sur les canaux Freycinet, fréquentés surtout par des plaisanciers, on aménage actuellement des écluses manœuvrables directement par les utilisateurs.

Dans ce cas, le système de manœuvre et de contrôle doit être conçu de façon à pouvoir s'arrêter instantanément et éventuellement s'inverser en cas d'urgence. Il convient également qu'il soit à l'abri d'une manœuvre incorrecte ou d'une mauvaise utilisation.

#### 2.3.2.9 Ouvrage d'amarrage et de guidage des bateaux

##### ■ Bollards d'amarrage dans le sas

Ils sont indispensables pour aider à l'arrêt des bateaux entrant dans le sas et permettre leur amarrage pendant les opérations d'écluse. Pour les écluses de faible chute, il suffit de bollards fixes placés sur le couronnement des bajoyers. Pour les chutes moyennes (4 à 8 m), on complète ceux-ci par des croix d'amarrages encastrées dans le bajoyer et distantes verticalement d'environ 2 m.

Pour les hauteurs de chutes supérieures à 10 m, il faut prévoir des bollards flottants qui se déplacent verticalement, avec le niveau d'eau, dans une enclave ménagée dans le bajoyer.

Le nombre de bollards équipant les écluses est déterminé en fonction de la taille moyenne et du nombre de bateaux susceptibles d'emprunter ensemble l'écluse. Ils doivent être capables de résister à des efforts d'amarrage de l'ordre de 200 kN pour les bollards courants et 350 à 450 kN pour les bollards d'extrémité (classes V et VI).

##### ■ Avant-ports

Pour faciliter l'entrée des convois poussés dans une écluse, il est utile de prévoir un mur guide, disposé dans l'alignement du bajoyer, sur une longueur égale à la moitié de celle du convoi.

L'avant-port comporte, en principe, un alignement droit d'une longueur au moins égale à celle de l'écluse et des ducs d'Albe pour l'amarrage des bateaux en attente.

Une signalisation par feux permet de donner aux marins les instructions nécessaires.

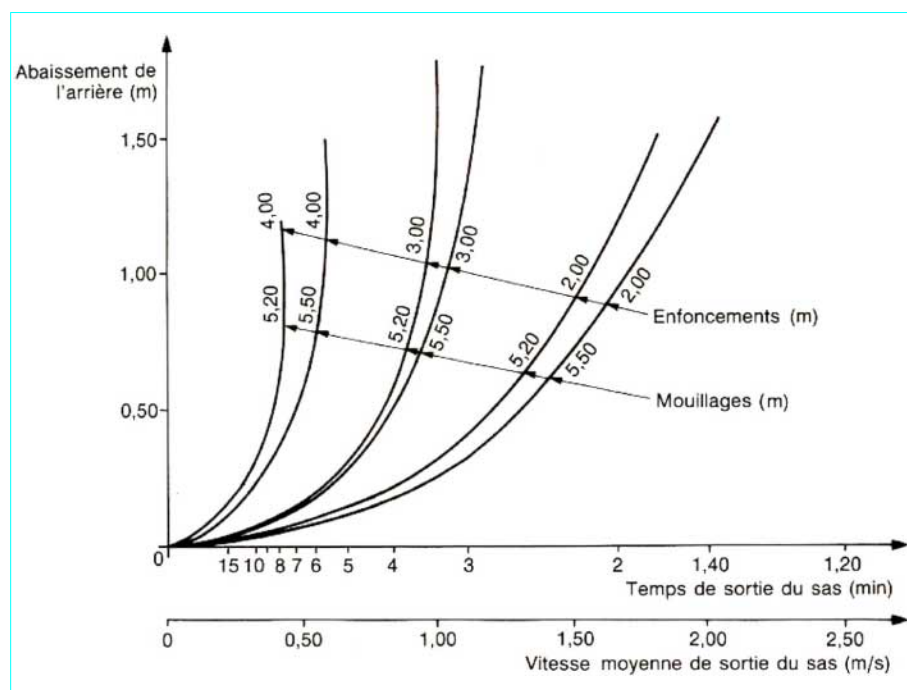


Figure 28 – Sortie d'un convoi par l'aval

## 2.3.3 Élévateurs mécaniques

### 2.3.3.1 Ascenseur

Dans un ascenseur à bateaux, le sas est remplacé par un bac étanche mobile dans le sens vertical. L'équilibre du bac peut être obtenu soit par la poussée d'Archimède sur de grands flotteurs se déplaçant dans des puits verticaux (figure 29a), soit de préférence par une série de contrepoids par l'intermédiaire d'un système de câbles et poulies (figure 29b). Ce bac mobile vient se placer successivement en face de l'extrémité de chacun des biefs. Avant d'ouvrir les portes du bac et du bief, il faut assurer la continuité de l'étanchéité entre partie mobile et partie fixe de l'ouvrage, remplir l'espace entre les portes, égaliser les niveaux. L'étanchéité est obtenue au moyen d'un boudin en caoutchouc gonflé à l'air comprimé, le remplissage de l'espace intermédiaire et l'équilibre des niveaux en écartant les portes de leur butée et en les soulevant légèrement.

Le guidage transversal et longitudinal du bac est assuré par des galets roulants sur des rails verticaux.

La durée de la translation verticale est très courte (7 min).

L'ouvrage le plus récent et le plus haut est l'ascenseur de Strep-Thieu en construction sur le canal du Centre en Belgique. Il rachète une chute de 73 m, et comporte 2 bacs de dimensions utiles 112 × 12 × 3,5 m, équilibrés chacun par 8 contrepoids de 1 000 t, et suspendus à une ossature en béton armé.

### 2.3.3.2 Plans inclinés

Comme dans l'ascenseur, le sas est remplacé par un bac étanche mobile obturé par une porte à chacune de ses extrémités, mais le bac est monté sur roues et se déplace sur un plan incliné. Ce type d'ouvrage pose des problèmes difficiles d'entretien du système de roulement, en raison de la charge très forte qui s'applique sur chaque roue.

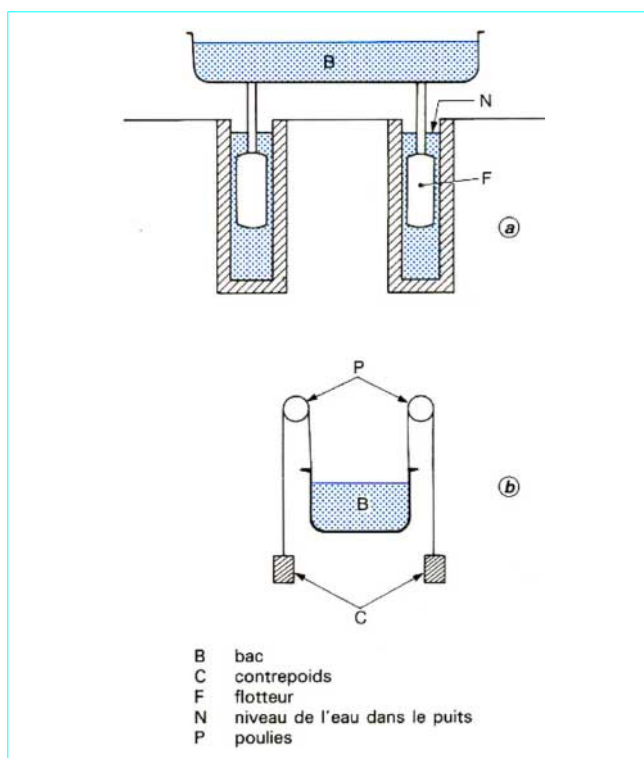


Figure 29 – Ascenseur à flotteur et funiculaire



### ■ Plan incliné longitudinal

Le bac est soumis à un mouvement de translation parallèle à son axe longitudinal. Il est équilibré par un contrepoids qui effectue un mouvement analogue en sens inverse, et auquel il est relié par un système de câbles et de poulies comportant une poulie motrice (figure 30).

Le problème le plus délicat provient des oscillations de l'eau dans le bac. Pour les limiter, il faut que les accélérations et décélérations restent très faibles.

Le seul ouvrage européen de ce type est le plan incliné de Ronquières sur le canal Bruxelles-Charleroi. Il comporte 2 plans inclinés parallèles et indépendants, pour avoir une capacité de trafic suffisante et une bonne sécurité d'exploitation. La dénivellation est de 67,50 m, chaque bac a pour dimensions  $87 \times 12 \times 3,70$  m ; il est relié par 8 câbles à un contrepoids qui roule en dessous de lui. Les accélérations sont limitées à  $1 \text{ cm/s}^2$ .

### ■ Plan incliné transversal

Pour diminuer les sujétions dues aux oscillations de l'eau dans le bac, on peut opérer le déplacement du bac dans le sens de la largeur. Cela permet d'avoir une pente beaucoup plus forte, donc de réduire la longueur de l'ouvrage (figure 31).

Un ouvrage de ce type existe à Arzwiller sur le canal de la Marne au Rhin pour franchir une dénivellation de 44,5 m. Ses dimensions

( $41 \times 5,20 \times 3,20$  m) sont adaptées au bateau de 300 t ; il est relié par 28 câbles à 2 contrepoids.

### 2.3.3.3 Pente d'eau

La pente d'eau comprend une rigole en béton armé de section rectangulaire et de pente faible (2 à 5 %) sur laquelle se déplace une bouchure mobile appelée masque.

Ce masque est poussé par un portique automoteur qui enjambe la rigole et roule sur la partie supérieure des bajoyers de celle-ci. Dans son déplacement, le masque pousse ou retient un coin d'eau mobile sur lequel flotte le bateau (figure 32). Le masque doit pouvoir se soulever au-dessus du gabarit de navigation pour permettre l'entrée des bateaux.

Le bief amont doit être isolé de la rigole par au moins une porte.

L'étanchéité verticale et horizontale entre le masque et la rigole est assurée par des rouleaux tournants de *Néoprène*.

Le masque doit être protégé contre les chocs des bateaux.

Comme pour le plan incliné longitudinal, il faut appliquer une très faible accélération pour éviter les oscillations du plan d'eau.

L'ouvrage le plus délicat est le portique automoteur qui doit avoir une puissance très importante (1 100 kW à Fonserannes) et un poids élevé (160 t). Le roulement peut être prévu soit sur rail, soit sur pneus.

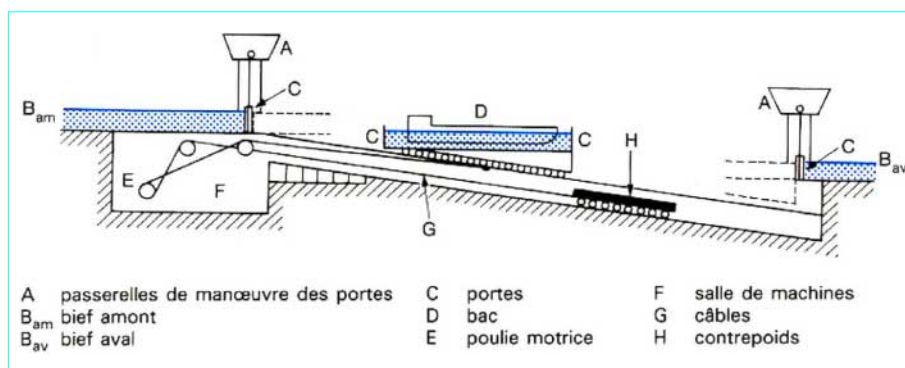


Figure 30 – Plan incliné longitudinal

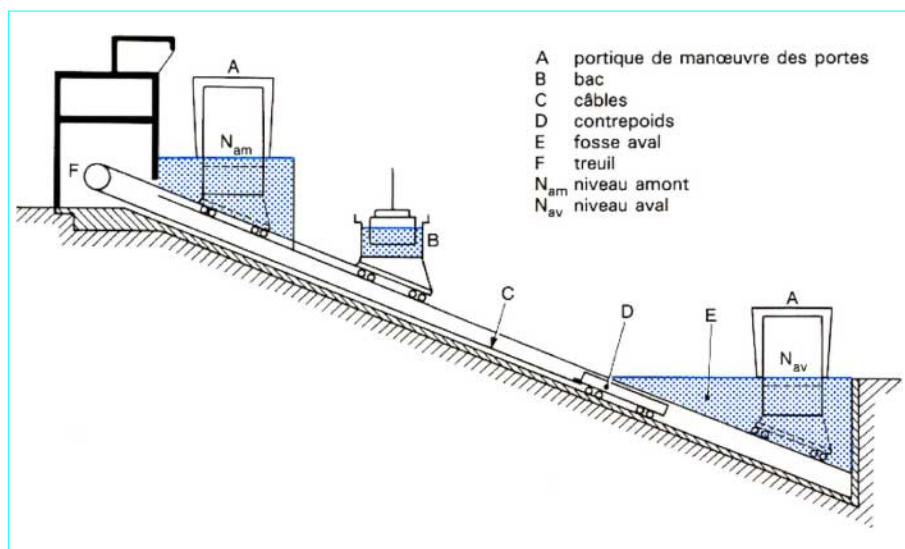


Figure 31 – Plan incliné transversal

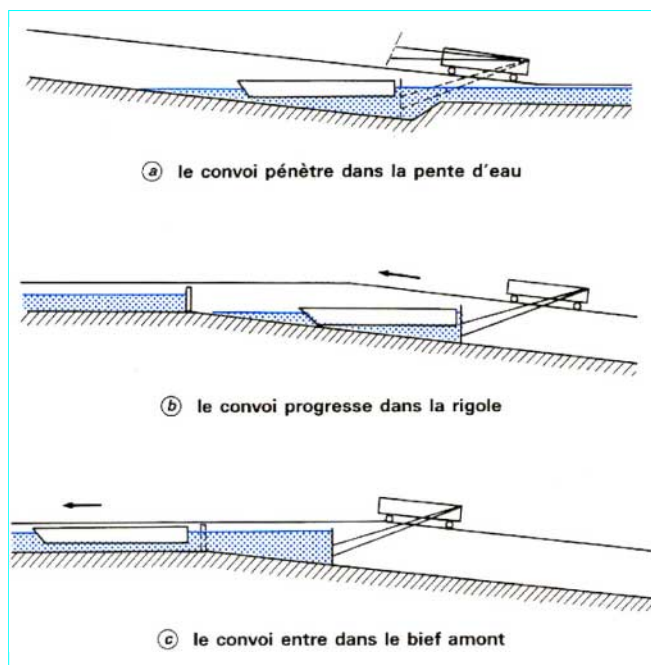


Figure 32 – Pente d'eau

Deux ouvrages de ce type existent en France sur des voies à petit gabarit, à Montech sur le canal latéral à la Garonne et à Fonserannes sur le canal du Midi. Ils diffèrent surtout par le système de propulsion :

- 2 automotrices Diesel-électrique à Montech ;
- 1 portique-moteur à commande électrohydraulique, alimentée par le réseau EDF, et comprenant 10 groupes motopompe à huile et 18 moteurs hydrauliques intégrés dans les jantes des roues du portique, à Fonserannes.

## 2.4 Problèmes divers

### 2.4.1 Insertion dans l'environnement

#### 2.4.1.1 Méthodologie

Il est important de dresser un état du milieu initial avant travaux qui porte notamment sur :

- la qualité de l'eau, qui traduit le degré de perturbation du milieu ;
- la végétation aquatique ;
- la faune piscicole et ses sites de reproduction ;
- les sites et les paysages.

#### 2.4.1.2 Qualité de l'eau

Elle peut être caractérisée par :

- la pollution chimique, d'origine urbaine, industrielle ou agricole ;
- la température ;
- la pollution organique mesurée par la  $DBO_5$  : quantité d'oxygène en mg/L consommée pendant 5 jours à 20 °C pour décomposer par oxydation les matières organiques contenues dans l'eau ;
- la teneur en oxygène dissous ;
- l'indice biotique, qui fait intervenir le nombre et la diversité de certains invertébrés.

La pollution chimique doit être traitée au niveau des rejets par des moyens appropriés, sur intervention de l'Agence de bassin.

Les autres facteurs varient avec la vitesse du courant, le brassage de l'eau, la surface des plans d'eau. L'aménagement d'une voie navigable peut avoir un effet défavorable en réduisant les vitesses et le brassage des eaux, et un effet favorable en augmentant la surface d'échange avec l'atmosphère. Lorsque la rivière a un débit notable, on peut profiter des déversements au barrage pour améliorer l'oxygénation ; s'il s'agit d'un bief dans lequel les échanges d'eau sont réduits, il faut y proscrire tout déversement d'égoût.

#### 2.4.1.3 Sédiments

L'envasement des retenues peut être évité par des dragages périodiques ou des chasses : ces chasses augmentent fortement la turbidité et donnent lieu à des dépôts sur les berges à l'aval des ouvrages. Elles doivent être conduites avec beaucoup de prudence.

Le dragage des graviers par les entrepreneurs au titre du code minier est de plus en plus remplacé par un entretien des fonds effectué sous le contrôle de l'Administration, en prenant garde de perturber le moins possible le milieu naturel.

#### 2.4.1.4 Flore

Des plantations effectuées avec des espèces végétales bien adaptées au milieu naturel permettent d'accélérer la cicatrisation du milieu après travaux et d'atténuer l'aspect artificiel des ouvrages.

Des plantations de végétation aquatique participent en outre à une meilleure insertion de l'ouvrage dans le milieu et facilitent la reproduction des poissons.

Enfin, pour assurer une protection naturelle des berges, il est possible d'effectuer des semis d'espèces végétales supportant l'immersion et comportant un développement racinaire suffisant pour fixer les matériaux constituant les rives.

#### 2.4.1.5 Faune

##### Faune piscicole

Les ouvrages de navigation constituent des obstacles à la circulation des poissons. Pour pallier cet inconvénient, les écluses peuvent être équipées de dispositifs d'attraits qui permettent au poisson d'employer ce chemin pour passer d'un bief à l'autre. Les barrages peuvent être équipés d'échelles ou d'écluses à poisson.

Le ralentissement des vitesses, l'approfondissement des fonds, le profilage des berges modifient l'habitat et les zones de frai. On peut y remédier en créant des frayères artificielles constituées de branches tressées dans un treillis de grillage (figure 33) ou par des aménagements particuliers des berges offrant des zones d'abri aux poissons.

##### Faune terrestre

Il convient de s'assurer que la pente des berges et la nature des revêtements ne constituent pas des obstacles insurmontables à la traversée des animaux sauvages ; on peut créer, par des plantations et un engazonnement soigné, des zones d'approches du plan d'eau sécurisantes pour le gros gibier en diminuant localement la pente des talus.

La création de retenues a souvent pour conséquence l'extension ou la création de zones humides propices pour constituer des zones de passage, de nidification, ou d'habitat pour les oiseaux migrateurs.

#### 2.4.1.6 Paysages

Les plans d'eau constituent souvent un élément positif, agréable et vivant, nuancé de reflets et de jeux de lumière, à condition de respecter certains sites protégés. Ils se révèlent souvent propices à la création de zones de loisirs nautiques (baignade, navigation de plaisance, pêche).

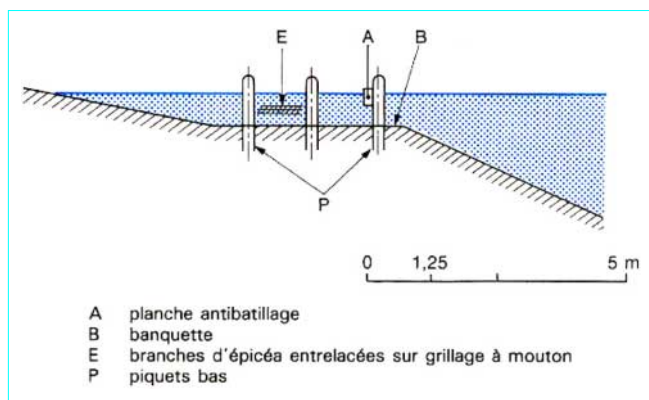


Figure 33 – Frayère artificielle

La protection et le maintien en eau des bras morts, l'aménagement de ceux-ci en zones de refuge pour la faune et le reboisement des rivages après la fin des travaux sont des mesures recommandées. L'aspect des berges est grandement amélioré si l'on peut arrêter le niveau des matériaux de protection un peu en dessous du niveau normal de retenue, et compléter cette protection par une plantation arbustive analogue à celle qui existe au bord des rivières naturelles (figure 34).

#### 2.4.1.7 Nappe-phréatique

Les endiguements réalisés en bordure des retenues ou des canaux doivent être bordés de contre-canaux qui recueillent les eaux d'infiltration. Ces contre-canaux permettent de stabiliser les nappes aux cotes optimales souhaitées par les agriculteurs.

Dans le cas où la création d'un bief navigable risque d'avoir pour conséquence un abaissement préjudiciable des nappes, il convient d'adopter des mesures d'isolement du bief par rapport à la nappe ou d'avoir recours à l'irrigation.

### 2.4.2 Alimentation en eau

#### 2.4.2.1 Besoins en eau

Pour assurer le fonctionnement d'une voie d'eau, il faut faire face à deux sortes de besoins : la consommation des écluses et la compensation des pertes (évaporation, infiltration, fuites).

Lorsque la voie d'eau n'est pas établie sur un cours d'eau suffisamment important pour faire face à ces besoins même en période d'étiage, il faut faire appel à des moyens complémentaires :

- régularisation des apports naturels par un barrage réservoir ;
- réduction des consommations par adjonction de bassins d'épargne aux écluses ;
- remontée de l'eau du bief aval dans le bief amont par pompage.

Le tronçon le plus critique est en principe le bief de partage ; la récupération des eaux disponibles à ce niveau, avec construction d'un barrage réservoir n'est suffisante que sur les canaux à petit gabarit (canal du Midi, canal du Centre...).

#### 2.4.2.2 Bassins d'épargne

Un bassin d'épargne est un réservoir disposé à proximité d'une écluse et communiquant avec le sas de celle-ci par un aqueduc vanné.

Lors de la vidange du sas, la tranche d'eau supérieure est envoyée en priorité dans le bassin d'épargne, puis le reste de la bassinée va dans le bief aval. Au remplissage, l'eau stockée dans le bassin d'épargne retourne dans le sas (tranche d'eau inférieure) ; le

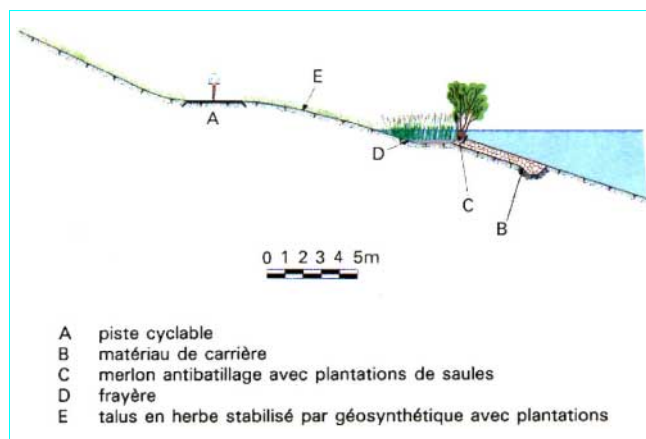


Figure 34 – Aménagement de berge

complément est alors prélevé dans le bief amont. On économise ainsi à chaque cycle le volume d'eau contenu dans le bassin d'épargne (figure 35).

Avec plusieurs ( $n$ ) bassins d'épargne ayant chacun une superficie égale à celle du sas, l'économie relative est égale à  $n/(n+2)$ .

En donnant aux bassins d'épargne une superficie supérieure à celle du sas on améliore encore la performance.

#### 2.4.2.3 Stations de pompage

En général, on accole une station de pompage à chaque écluse du tronçon déficitaire (canal du Nord en France, canal Main-Danube en Allemagne). Le débit de la station doit être calculé en tenant compte de l'étiage des débits naturels, du nombre maximal de cycles d'éclusement journaliers, du temps maximal de fonctionnement des pompes (excluant les heures de pointe), de la possibilité d'avoir une pompe à l'arrêt pour entretien. Les frais d'exploitation sont toujours élevés (consommation d'énergie).

La combinaison de bassins d'épargne et de stations de pompage peut être étudiée de manière à minimiser le coût total capitalisé du projet. La possibilité d'utiliser des volumes de marnage importants dans les biefs en facilite notablement l'exploitation.

### 2.4.3 Évacuation des crues

Quand la voie navigable est établie dans le lit d'un cours d'eau, elle reste soumise à l'aléa constitué par les crues. Si le niveau dépasse celui des plus hautes eaux navigables, la sécurité de la navigation n'est plus assurée, notamment en ce qui concerne le tirant d'air sous les ponts, et la vitesse du courant.

L'écoulement du débit se fait principalement par le barrage dont les vannes sont progressivement ouvertes de manière à éviter toute surélévation des niveaux amont dans les parties non endiguées. Avec un barrage en caoutchouc, un système de dégonflage automatique en cas de montée du niveau amont peut permettre de rétablir le cours d'eau dans sa situation naturelle.

Il est possible de faire transiter également une partie du débit par l'écluse, soit directement par le sas si une des portes est manœuvrable en charge (ce qui est une sécurité en cas d'incident), soit en ouvrant toutes les vannes des systèmes d'alimentation et de vidange.

Dans certains cas, l'écluse peut être complètement submersible.

Il est essentiel de prévoir des installations d'amarrage permettant aux bateaux d'attendre la fin de la crue en toute sécurité.

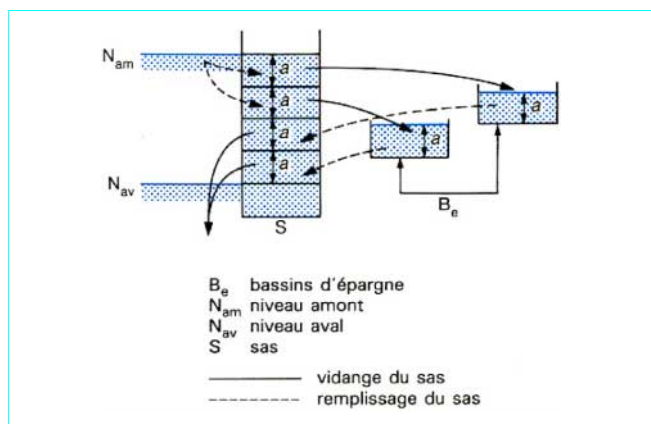


Figure 35 – Bassin d'épargne

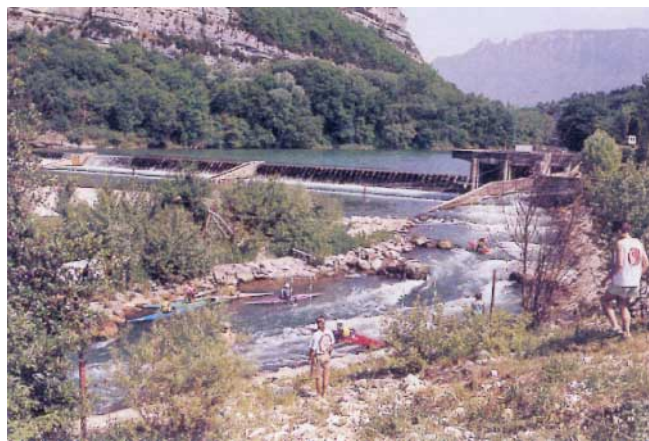


Figure 36 – Seuil en béton-palplanches et rivière artificielle à canoë-kayak

#### 2.4.4 Parcours de canoë-kayak (figure 36)

Dans le domaine des sports nautiques, il est possible de profiter d'un aménagement de voie navigable pour réaliser des « stades d'eaux vives » permettant la pratique du canoë-kayak. Il s'agit de rivières artificielles, construites à l'image des torrents naturels, avec toutes les caractéristiques intéressant les adeptes du canoë-kayak (tracé, pente, forme, volume et position des obstacles). Une prise d'eau dans la retenue permet d'assurer le débit nécessaire au parcours sportif. La pente est de l'ordre de 1 %.

## 3. Ports fluviaux

### 3.1 Construction

On distingue les ports longitudinaux qui se développent le long de la voie d'eau, et les ports à darses.

Les **ports longitudinaux** comprennent eux-mêmes les ports linéaires constitués par de simples aménagements de berge permettant l'accostage, le chargement et le déchargement des bateaux, et les plates-formes portuaires dont les superficies plus importantes (quelques dizaines d'hectares) autorisent les activités industrielles liées à la voie d'eau. Il faut prévoir un élargissement du chenal afin que les unités en stationnement ne gênent pas le transit des autres.

Les **ports à darses** ont une superficie généralement supérieure à 100 ha. Ils possèdent une berge sur la voie d'eau, une entrée donnant accès aux darses, dans laquelle s'inscrit un cercle de 200 à 300 m de diamètre pour la manœuvre des bateaux, des terre-pleins disposés sur les deux rives des darses pour accueillir les installations industrielles et de stockage. Ces dispositions sont celles du port de Strasbourg sur le Rhin, du port de Gennevilliers sur la Seine, du port Édouard Herriot sur le Rhône à Lyon.

Pour la définition de la cote des ouvrages d'accostage et des plates-formes portuaires, il faut prévoir une certaine revanche (3 m) par rapport au plan d'eau normal et tenir compte des variations du niveau du plan d'eau. Celles-ci peuvent être importantes s'il s'agit d'un aménagement en rivière. Le niveau des crues oblige quelquefois à construire un quai très haut par rapport au niveau semi-permanent, ce qui est gênant pour les opérations de manutention.

Des écluses peuvent exceptionnellement être prévues pour maintenir à l'intérieur du port (à darses) un niveau d'eau sensiblement constant. Le concepteur d'un projet portuaire doit se préoccuper également de la vitesse du courant et des risques d'envasement.

La construction des ouvrages d'accostage fait appel à des techniques variées (article *Ports de commerce et de pêche. Aménagement et équipements intérieurs* [C 4 640] dans ce traité).

On peut citer : les quais en palplanches métalliques, en béton (caissons havés, caissons immergés, murs construits à sec à l'intérieur d'un batardeau), en terre armée, en parois moulées, en pieux jointifs, les estacades sur pieux, les ducs d'Albe sur une berge talutée.

### 3.2 Exploitation

Une zone portuaire constitue un centre d'échange multimodal desservi par tous les types de transport : fluvial, éventuellement fluvio-maritime, routier, voie ferrée, oléoduc.

Elle comprend en principe :

- une **zone publique** gérée par un organisme approprié (Port Autonome, Chambre de Commerce, concessionnaire) et destinée à recevoir les installations de manutention et de stockage pour le compte des tiers ;

- une **zone industrialo-portuaire** de vaste superficie dont les parcelles sont occupées par des entreprises qui construisent leurs centres de stockage et effectuent les manutentions avec leur propre outillage.

Les opérations de chargement et de déchargement peuvent être effectuées verticalement lorsqu'on dispose d'un portique bord à quai, dont la capacité de levage peut aller jusqu'à 250 t (port Édouard Herriot).

Elles peuvent aussi être effectuées horizontalement, notamment en cas de convois spéciaux de charges lourdes, en utilisant des rampes roll on - roll off, qui permettent de faire entrer celles-ci directement dans les bateaux.

Une importance particulière doit être donnée à l'utilisation des conteneurs, qui facilitent les transports combinés rail-route, rail-eau, ou route-eau. Les plus gros atteignent actuellement 40 t.



Un terminal à conteneur est un point de regroupement et d'éclatement des marchandises transportées. Il comporte des installations permettant :

- l'empotage-dépotage, c'est-à-dire la redistribution des marchandises par destinataire ;
- le maintien en température ;
- l'entretien et la gestion des conteneurs vides.

Sur le Rhin, la mise en service d'une série de terminaux fluviaux, distants d'environ 30 km, a entraîné un développement rapide du transport par conteneurs.

Un cas particulier important concerne le transport, le stockage et la manutention des matières dangereuses, qui doivent être conformes à une réglementation stricte. Ce transport est particulièrement adapté au mode fluvial car il s'exerce en site propre et présente moins de risques d'accidents.

### 3.3 Ports de plaisance

**Nota** : on se reportera à l'article *Ports de plaisance* [C 4 650] du présent traité.

Si la navigation de plaisance peut aisément cohabiter avec la navigation commerciale sur la voie navigable et les ouvrages de franchissement, il est par contre impératif que les installations portuaires soient séparées.

Un port de plaisance doit être, si possible, installé dans un site naturel abrité du courant, du batillage et des vents dominants : ancien méandre, bras mort, ancienne darse, section de rivière élargie...

L'amarrage des bateaux peut se faire sur quai, sur appontement fixe ou sur appontement flottant complété par des catways (petits appontements perpendiculaires à l'appontement principal).

Les appontements flottants sont nécessaires lorsque le niveau du plan d'eau est susceptible de variations importantes. Ils ont l'inconvénient d'être d'un entretien coûteux.

Il faut souvent prévoir des installations de mise à sec. Le système le plus simple est la cale de halage, constituée d'un plan incliné de pente 12 à 15 %.

Une halte nautique pour bateaux hôtels, destinée à accueillir le passage d'unités de grande taille est constituée en général par des pontons flottants lourds coulissant sur des pieux et reliés à la berge par des passerelles. Une attention particulière doit être attachée à la sécurité des passagers lors des opérations d'embarquement et de débarquement.

## 4. Exploitation de la voie navigable

L'exploitation de la voie navigable recouvre l'ensemble des tâches nécessaires pour une utilisation optimale de l'ouvrage : manœuvres de l'écluse et des barrages, surveillance, entretien et renouvellement. Elle doit prendre en compte les objectifs suivants : sécurité, qualité du service et souci de l'environnement, productivité.

### 4.1 Exploitation générale

#### 4.1.1 Conduite des ouvrages

La manœuvre des écluses et des barrages est assurée par des agents spécialisés avec, au besoin, l'appoint de personnel extérieur.

Dans une écluse, la manœuvre est à l'initiative de l'éclusier, lorsqu'un bateau se présente.

Pour économiser le personnel sur le réseau à petit gabarit, à faible trafic, comportant une notable proportion de bateaux de plaisance, on a pu développer un système de commande de l'écluse par l'utilisateur. Cette solution exige de prendre de bonnes précautions en matière de sécurité. L'automatisation de ces écluses est en cours de développement ; elle permet à un seul agent de contrôler le fonctionnement d'une chaîne de 5 à 10 écluses.

La commande des barrages, qui a pour but de maintenir la constance du niveau quel que soit le débit, est fréquemment automatisée. Cet automatisme peut revêtir une forme simple (maintien d'un niveau constant à l'amont) ou plus complexe (respect d'une consigne hauteur-débit). Il nécessite alors un système de captage et de transmission de l'information sur les débits.

L'exploitation des aménagements à buts multiples est beaucoup plus délicate car il s'agit d'assurer l'utilisation optimale des ressources en eau. La conduite de l'exploitation doit alors tenir compte d'un très grand nombre de données, et nécessite d'avoir recours à des calculateurs performants. S'il s'agit de l'exploitation d'une chaîne d'aménagements (Rhône) la complexité est encore accrue pour éviter les instabilités dans la chaîne.

#### 4.1.2 Navigation en période de crue

Sur les rivières aménagées, il peut arriver que le niveau dépasse celui des « plus hautes eaux navigables ». Ce niveau, défini administrativement, correspond généralement au débit dépassé 3 à 10 jours par an. Il constitue une limite au-delà de laquelle la navigation présente difficultés et danger. La navigation est alors interdite pour les bateaux de plaisance et les bateaux à passagers ; elle peut être poursuivie, aux risques et périls de l'utilisateur, par les bateaux de commerce.

#### 4.1.3 Navigation par grand froid

Sur les canaux, le gel a pour action la formation d'une couche superficielle de glace dont l'épaisseur augmente progressivement. Lorsqu'elle atteint 20 cm, la circulation des bateaux de commerce est arrêtée, non seulement en raison de l'effort nécessaire pour briser la glace, mais aussi de l'usure résultant du frottement des plaques de glace contre la coque.

Sur les rivières, on a plutôt affaire à des glaçons flottants entraînés par le courant, qui peuvent s'accumuler localement en donnant lieu à des barrages de glace. On ne peut intervenir valablement au moyen de brise-glace qu'au début et à la fin d'une période de gel, pour écourter la période d'interruption de la navigation. On a quelquefois recours à l'explosif pour disloquer des masses de glace.

Des câbles de chauffage par résistance électrique ou des dispositifs à air comprimé remontant les eaux plus chaudes du fond par des rideaux de bulles sont utilisés sur les vannes de barrage et les portes d'écluses, spécialement au droit des dispositifs d'étanchéité, pour que leur manœuvre reste possible, au moins pour l'évacuation ou l'éclusage des glaçons flottants vers l'aval.

### 4.2 Surveillance

#### 4.2.1 Surveillance du chenal

L'aménagement d'une rivière a pour effet de perturber les transports solides, matières en suspension et charriage. Des problèmes importants d'instabilité du lit peuvent se poser dans une rivière aménagée à courant libre. Dans une rivière canalisée, les mouvements de matériaux se produisent principalement en période de crue ; cependant les retenues, en ralentissant le courant, favorisent le dépôt de matières en suspension, et ce problème peut se retrouver dans les canaux, notamment s'ils présentent des élargissements (installations portuaires, garages amont et aval des écluses).

Une surveillance périodique des fonds est donc nécessaire ; elle permet de s'assurer à la fois que le chenal de navigation reste utilisable sur toute la longueur de la voie d'eau, et qu'il n'y a pas de risque de surélévation des lignes d'eau de crues.

Ce contrôle consiste en un levé des profils en long du chenal, complété par un certain nombre de profils en travers. Un bateau équipé d'un appareil à ultrasons, dont les résultats sont immédiatement traités par des moyens informatiques, permet d'obtenir rapidement ces renseignements sur les voies d'eau importantes.

L'équipement hydrographique du bateau utilisé actuellement sur le Rhône permet notamment :

- le repérage automatique de la position du bateau ;
- le levé des fonds (vaseux ou alluvionnaire) en continu sur une largeur de 38 m au moyen de sondeurs à ultrasons situés sous la coque du bateau et sous deux bras de 15 m de longueur pouvant se déployer de part et d'autre de celui-ci ;
- l'exploitation des données : route suivie, carte des fonds.

La surveillance doit être augmentée en période de crue ou de perturbation météorologique.

## 4.2.2 Surveillance des digues

Les endiguements sont construits le plus souvent avec les matériaux disponibles sur le site et fondés sur les terrains en place dont les caractéristiques peuvent être très variables. Étant donné le danger que peut représenter la rupture d'un tel ouvrage, il est nécessaire de s'assurer qu'il se comporte conformément aux prévisions et de connaître à bref délai tout événement anormal.

Les méthodes de contrôle sont très nombreuses, on peut les classer en trois catégories :

- inspection visuelle en cours de tournées à pied (photographies) ;
- système de mesures fixes incorporées à la digue : piézomètres, déversoirs sur les contre-canaux destinés à mesurer les débits de fuite, capteurs de contraintes ou de déformations ;
- procédés d'auscultation installés à chaque campagne de mesure : mesures thermiques, géophysiques, traceurs radioactifs, sonar.

Il est essentiel que le traitement et l'interprétation suivent de près l'acquisition des données.

La tournée d'inspection visuelle reste fondamentale.

Il convient de prêter une attention spéciale aux zones de jonction entre les digues et les ouvrages en béton ou en palplanches qui sont des zones de fuites préférentielles (aqueducs, canalisation, mur de quai, culée de pont ou de barrage).

## 4.2.3 Surveillance des ouvrages en béton

Le contrôle de la stabilité d'ensemble des ouvrages par des moyens topographiques [relevés de niveaux, inclinomètres, pendules (article *Topographie. Topométrie. Géodésie* [C 5 010] dans ce traité)] permet de détecter tassements, glissements ou rotations dus le plus souvent à des désordres dans la fondation.

Il est utile de les compléter par des relevés piézométriques, effectués régulièrement à proximité et sous l'ouvrage, ainsi que par des mesures de pression et de débit dans les drains.

Lorsqu'un ouvrage est fondé sur un terrain compressible (marne, argile), il est intéressant d'équiper un ou plusieurs forages avec des repères électromagnétiques ou mécaniques pour permettre de suivre l'évolution des tassements au moyen d'une sonde. On peut également installer des capteurs de pression pour des mesures de pression interstitielle et des mesures de pression totale à l'interface marne-fondation.

Les défauts locaux (fissuration, épaufrures, fuites, corrosion des armatures, scellements arrachés, etc.) sont principalement décelés par inspection visuelle, notamment au moment des chômages qui permettent de visiter les parties immergées.

Dans certains cas (radier aval des barrages), on fait appel à des hommes grenouilles munis de caméras de télévision.

Sur les fleuves importants, les radiers de barrages, sièges de la dissipation de l'énergie de la chute, subissent de très fortes sollicitations. Il est nécessaire de prévoir une inspection systématique à sec de tous les ouvrages après batardeau. Différentes méthodes sont utilisées : ouvrage en terre, poutrelles mises en place par engin-flottant, aiguilles mises en place depuis le pont, batardeau gonflable ; elles peuvent parfois être combinées avec un abaissement du niveau aval.

## 4.2.4 Surveillance des ouvrages métalliques et électromécaniques

Les agressions que subissent les équipements métalliques ont généralement pour cause l'oxydation due à l'air et à l'action de l'eau au niveau du battillage, ainsi que les chocs de bateaux ou de corps flottants. Un contrôle visuel est bien suffisant pour des équipements tels que les ducs d'Albe, dont l'indisponibilité ne présente pas de risque pour la sécurité des tiers.

Sur les organes mobiles, vannes de barrage, portes et vannes d'écluse, les conséquences des pannes sont toujours graves, et il est important de mettre au point des indicateurs informant l'exploitant de l'existence d'un processus pouvant conduire à la ruine de l'ouvrage. Parmi ces indicateurs, on peut citer les mesures de vibration et de bruit, l'enregistrement des efforts et des vitesses lors des manœuvres, les analyses d'huiles, les suivis d'usure, etc.

## 4.2.5 Surveillance du balisage, de la signalisation et des ouvrages d'accostage

Ces ouvrages, accessoires indispensables de la voie navigable, sont sensibles aux incidents, aux perturbations météorologiques, aux corps flottants, au vandalisme. La surveillance doit être constante pour assurer la sécurité. Les usagers peuvent apporter une aide précieuse à l'exploitant en signalant les anomalies rencontrées.

# 4.3 Entretien et renouvellement

## 4.3.1 Dragages d'entretien

Lorsqu'il apparaît que l'alluvionnement risque de présenter des inconvénients pour le passage de la navigation ou celui des crues, il convient de procéder à l'enlèvement des dépôts excédentaires par dragages. Généralement, les limons sont extraits par drague suceuse, les graviers par drague à godet ou pelles sur ponton. S'ils ne peuvent être commercialisés, on peut quelquefois les rejeter dans des fosses profondes ou les mettre en dépôt.

Sur certains cours d'eau, où il est possible d'extraire des matériaux en vue de la commercialisation, il faut veiller à ce que la demande de matériaux graveleux ne conduise à extraire plus de matériaux que le débit solide n'en apporte. Ces dragages doivent donner lieu à des contrôles des sédiments de manière à éviter la pollution des eaux.

### 4.3.2 Ouvrages de génie civil

Dans certains cas, la réparation doit être immédiate (fuite dans une digue), et peut nécessiter la mise en œuvre de moyens importants et exceptionnellement une baisse du plan d'eau et une interruption de la navigation.

Le plus souvent, les réparations peuvent être programmées d'avance et effectuées à l'occasion des chômages annuels.

Sur le Rhône, certains radiers de barrage qui présentaient des traces d'usure ont pu être réparés au moyen de revêtements à base de résine époxyde à l'occasion des visites systématiques mentionnées ci-avant. Par contre, la stabilisation des enrochements de protection aval a été réalisée sous l'eau.

### 4.3.3 Parties mobiles

Les travaux d'entretien courant (peinture) sont évidemment plus faciles à exécuter lorsque l'organe mobile est situé hors de l'eau en position de repos (vanne segment, porte levante, porte coulissante), et qu'une bouchure de secours (batardeau) permet d'obturer l'ouverture correspondante. Il peut être utile, lorsque la voie navigable comporte une série d'ouvrages semblables, de disposer d'un organe de secours (porte d'écluse, vanne, batardeau) pouvant être mis en place rapidement en cas d'accident.

### 4.3.4 Modernisation

Lorsque la vétusté des ouvrages en rend l'exploitation ou l'entretien trop onéreux, il devient nécessaire de les transformer ou quelquefois de les reconstruire complètement.

C'est ainsi que sur la Saône, est en cours un programme de remplacement des barrages à aiguille, d'exploitation dangereuse, par des barrages à clapet à manœuvre automatique. De même sur le canal du Midi, la pente d'eau de Fonserannes est destinée à remplacer une chaîne de 8 écluses tricentenaires.

## 4.4 Police de la navigation

La police de la navigation est assurée par les services de la navigation, dépendants du ministère de l'Équipement, qui travaillent en liaison avec les gendarmeries.

Les principaux problèmes concernent les immatriculations, les infractions, les épaves, le transport des matières dangereuses, et les conflits entre les divers usagers de la voie navigable : navigation commerciale, plaisance, pêcheurs, etc.

La surveillance de la qualité de l'eau, principalement en cas de pollution accidentelle d'un cours d'eau, est du domaine des Agences de l'eau. Un tel organisme possède une fonction d'incitation au respect de la réglementation, par le jeu de perception de redevances et de distribution d'aides aux maîtres d'ouvrage.

## 5. Conclusion

Le besoin de transport s'accroît en France et en Europe avec le développement général de l'économie.

Cependant, depuis une vingtaine d'années, cette croissance profite surtout au transport routier, et les axes routiers connaissent des situations d'engorgement fréquentes, malgré la poursuite des travaux d'infrastructure, notamment autoroutière.

Pour améliorer cette situation, trois sortes de solutions peuvent être envisagées :

- soit purement routières, par création de nouveaux itinéraires autoroutiers venant doubler les autoroutes existantes ;
- soit combinant les trafics ferroviaires et routiers, avec création éventuelle de nouvelles lignes de chemin de fer sur les itinéraires les plus chargés ;
- soit combinant le trafic routier avec l'utilisation de la voie d'eau qui offre de grosses possibilités et qui ne pose pas de problèmes de saturation (par exemple dans la vallée du Rhône, le fleuve offre une marge de capacité supplémentaire de transport de plus de 15 millions de tonnes par an).

Une utilisation accrue du transport fluvial est généralement la solution la moins contestée et toujours la solution la meilleure du point de vue de l'environnement.

Il ne faut pas oublier qu'une grande partie du transport terrestre prend naissance dans les ports de mer, puisqu'il fait suite au transport maritime qui concerne la quasi totalité du fret intercontinental.

La voie navigable, surtout depuis le développement du transport par conteneurs et des unités fluvio-maritimes, apparaît comme un moyen de prolonger les installations portuaires jusqu'au cœur du continent.

L'avenir du transport fluvial se trouve ainsi lié à l'existence de plates-formes multimodales d'échange, nécessaires aux transferts mer-voie d'eau, rail-voie d'eau ou route-voie d'eau, et comme points d'éclatement du trafic.

L'ouverture d'un grand marché unique européen en 1993 va favoriser la naissance d'une véritable Europe des transports.

En Belgique, aux Pays-Bas et en Allemagne, notamment sur l'axe rhénan, le transport fluvial joue un rôle essentiel et ces pays consacrent de gros moyens à l'entretien et au développement de leurs réseaux navigables. La mise en service de la liaison Rhin-Main-Danube met en outre ces réseaux en relation avec l'Europe de l'Est et la mer Noire, et l'Allemagne projette de développer vers Berlin et la Pologne son réseau à grand gabarit.

Le tableau ci-après fait ressortir les différences entre ces pays en 1990 (source Eurostat) :

	Transport intérieur (en 10 <sup>9</sup> t · km)		
	Route	Rail	Voie d'eau
France	98	33	4
Allemagne de l'Ouest	120	33	14
	Transport international (en 10 <sup>9</sup> t · km)		
	Route	Rail	Voie d'eau
France	29	13	3
Allemagne de l'Ouest	21	22	35

Il faut ressortir l'importance de la voie d'eau pour les échanges internationaux.

Par contre, en France, la faible extension du réseau à grand gabarit et surtout le manque de liaison interbassins constituent de lourds handicaps. La Seine et l'ensemble Rhône-Saône notamment, sont accessibles à des convois poussés jaugeant 4 000 à 5 000 t, mais ces fleuves ne sont reliés entre eux et au reste du réseau que par des canaux à petit gabarit.

La réalisation du schéma directeur qui prévoit le maillage de ce réseau et son raccordement au système européen est nécessaire pour permettre au mode fluvial de jouer, dans notre pays, un rôle comparable à celui qu'il joue en Europe de l'Ouest.

# Voies navigables

par **Pierre SAVEY**

Ingenieur Général des Ponts et Chaussées

Directeur Général de la Compagnie Nationale du Rhône

## Bibliographie

### Ouvrages généraux

#### En français

AGENCE DE L'EAU. – *Eaux de Rhône-Méditerranée-Corse*. 331 p., in-8°, fig., cartes, diagr., photos, Rhône-Alpes print (1991).

AUBERT (J.). – *Barrages et canalisations*. 558 p., 424 fig., Dunod (1949).

BOUCHER (A.) et FOURREY (E.). – *Cours de navigation intérieure*. 470 p., in-8°, fig., pl. h.t., Eyrolles (1954).

BRISAUD (A.) et SEILLAN (H.). – *Manuel de la navigation intérieure*. 184 p., 14 × 22, Éditions maritimes et coloniales (1957).

CHABERT (J.). – *Calcul des courbes de remous. Méthodes de calcul et applications numériques*. 96 p., 27 × 21, 39 fig., Eyrolles (1955).

DUMAS (F.). – *Les dernières réalisations et les tendances actuelles en France dans le domaine des écluses de navigation*. VI-154 p., in-8°, fig., cartes, plans, diagr., CERES (1952).

JAMME (G.). – *Travaux fluviaux*. Eyrolles (1974).

LARRAS. – *Défense contre les crues*. Eyrolles (1975).

LEBRETON (J.C.). – *Dynamique fluviale*. Eyrolles (1974).

SILBER (R.). – *Étude et tracé des écoulements permanents en canaux et rivières*. XIV-194 p., 16 × 25, 180 fig., Dunod (1954).

#### En allemand

DEHNERT (H.). – *Schleusen und Hebewerke* (Écluse et ascenseurs à bateaux). VIII-340 p., 16 × 25, 320 fig., Springer Verlag (1954).

DUHM (J.). – *Der Flussbau, Gewässerkunde, Gewässerregulierung und Deichbau* (Constructions fluviales, Hydrologie, Régulation des eaux et construction des digues). XII-491 p., 403 fig., 2 pl. h. t., G. Fromme und Co. (1951).

HEISE (G.). – *Binnenschiffseichung* (Jaugeage des bateaux pour la navigation intérieure). 164 p., gr., in-8°, 56 fig., Fachbuchverlag (1953).

HENTZE (J.). – *Wasserbau* (Ouvrages hydrauliques). Teubner (BG) Verlag, T.I. : VI-133 p., 23,5 × 16,5, 227 fig., bibl., 12° éd. (1956) ; T.II. : VI-145 p., 242 fig., bibl., 11° éd. (1958).

PRESS (H.). – *Binnenwasserstrassen und Binnenhäfen* (Voies navigables et ports fluviaux). VIII-500 p., 520 fig., 427 réf., W. Ernst und Söhne (1956).

SCHAFFERNAK (F.). – *Flussmorphologie und Flussbau* (La morphologie des cours d'eau et les travaux fluviaux). 115 p., 129 fig., Springer Verlag (1950).

SCHOKLITSCH (A.). – *Handbuch des Wasserbaues* (Manuel de la construction hydraulique). 2° éd., VIII-594 p., 1 353 fig., réf., Springer Verlag (1952).

STRECK (O.). – *Grundlagen der Wasserwirtschaft und Gewässerkunde* (Bases de l'hydraulique et de l'hydrologie). X-466 p., 291 fig., Springer Verlag (1953).

WUNDT (W.). – *Gewässerkunde* (L'hydrologie). VI-320 p., 185 fig., Springer Verlag (1953).

#### En anglais

BARROWS (H.K.). – *Floods, their hydrology and control* (Les crues. Hydrologie et contrôle). 432 p., 15 × 22, 5 fig., McGraw Hill (1948).

BEAN (K.). – *Famous waterways in the world* (Les voies navigables célèbres du monde). 143 p., in-8°, 28 fig., F. Muller (1956).

BENEST (E.E.). – *The inland waterways of France* (Les voies navigables intérieures de la France). 198 p., in-8°, fig., Imray (1956).

BLENCH (T.). – *Regime behaviour of canals and rivers* (Le comportement en régime des canaux et rivières). XIII-138 p., 17 fig., Butterworth (1957).

DAVIS (C.V.) et collab. – *Handbook of applied Hydraulics* (Manuel d'hydraulique appliquée). 2° éd., 1 272 p., 15,5 × 23,5, fig., McGraw Hill (1952).

LELIAVSKY (S.). – *An introduction to fluvial hydraulics* (Introduction à l'hydraulique fluviale). 269 p., 88 fig., Constable and Co. (1955).

LINSLEY (R.K.), KOHLER (M.A.) et PAULUS (J.L.). – *Applied Hydrology* (Hydrologie appliquée). 689 p., 15 × 22,5, 328 fig., McGraw Hill (1949).

RICHARDS (B.D.). – *Flood estimation and control* (Estimation et contrôle des crues). 3° éd., 200 p., in 8°, 49 fig., Chapman and Hall (1955).

*Standard specifications for construction of canal systems* (Spécifications normalisées pour la construction de réseaux de canaux). 111 p., 12 fig., Denver Bureau of Reclamation Design Construction Div. (1951).

#### En russe

MIKAILOV (A.V.). – *Soudokodnie Chlouizi* (Écluses de Navigation). 527 p., 267 fig., Gos-Izdat (1965).

#### Articles de revue

##### En français

##### Regard sur la France

Service Navigation de Strasbourg. – *Les voies d'eau et les ports*. Janv. 1980.

GUICHARD (O.), CHAPON (J.) et divers auteurs. – *Voies Navigables de France*. Oct. 1973.

##### Revue de Géographie de Lyon

SAVEY (P.). – *Voies navigables et environnement*. N° 1 (1979).

**Revue de la Navigation Européenne, Ports et Industries** (anciennement *Revue de la navigation intérieure et rhénane*, puis *Revue de la navigation fluviale européenne*. Ports et Industries).

*La canalisation de la Moselle*. Rev. Nav. intér. et rhénane, p. 348-67, 10 fig., 1 tabl., 6 ph., mai 1960.

AUBERT (J.). – *Le franchissement des hautes chutes. La solution pente d'eau*. Rev. Nav. intér. et rhénane, p. 685-95, 25 août 1961.

PIERRE (M.). – *L'organisation du trafic sur les voies navigables. Un essai réalisé sur la section Berry-au-Bac - Courcy du canal de l'Aisne à la Marne*. Rev. Nav. intér. et rhénane, 25 fév. 1964.

CAVALLIER (G.) et TENAUD (R.). – *Les travaux du Canal du Nord*. Rev. Nav. intér. et rhénane, p. 230-54, 25 avril 1966.

LECLERQ (R.). – *Les voies navigables de l'URSS*. Rev. Nav. intér. et rhénane, p. 616-30, 10 oct. 1967.

TENAUD (R.). – *Ouvrages de franchissement des grandes chutes en URSS*. Rev. Nav. intér. et rhénane, p. 70-7, 10 fév. 1968.

DAVID (R.). – *Bientôt sur le Rhin des convois poussés de 10 000 à 13 000 t*. Navigation 41, n° 2, p. 59-62, 10 fig., 25 janv. 1969.

TOMCZAK (W.). – *Le développement de l'infrastructure fluviale aux États-Unis*. Rev. Nav. fluv. eur. Ports et Ind., Aménagement du Territoire, n° 7, p. 241-9, 10 avril 1969.

*L'aménagement du Rhin entre Bâle et Strasbourg est achevé. Description des ouvrages de la chute de Strasbourg*. Rev. Nav. fluv. eur., Ports et Ind., Aménagement du Territoire, n° 8, p. 165-276, 25 avril 1970.

THELU (R.). – *Les plans inclinés transversaux. Aperçu historique*. Bibliographie. Rev. Nav. fluv. eur., Ports et Ind., n° 12, p. 452-6, 25 juin 1970.

*Sur le canal de la Marne-au-Rhin. Le plan incliné d'Arzwiller. Saint-Louis remplace dix-sept écluses*. Rev. Nav. fluv. eur., Ports et Ind., Aménagement du Territoire, n° 12, p. 443-509 (20 articles), 25 juin 1970.

DAVID (R.). – *Les bargettes Lash et Seabee dans le bassin rhénan*. Rev. Nav. fluv. eur., Ports et Ind., Aménagement du Territoire, n° 1, p. 4-9, 10 janv. 1971.

AUBERT, CHAUSSIN et CANCELLONI. – *La pente d'eau de Montech*. N° 9, 10 mai 1973.

DAMBRE et PLESSIS. – *Aménagement à grand gabarit de la petite Seine de Montereau à Bray-sur-Seine*. N° 17 (1974).

DELWAIDE. – *La nouvelle liaison Escaut Rhin*. N° 15 (1975).

COCOZZA. – *L'aménagement fluvial de la vallée de l'Oise*. N° 16 (1975).

ROITEL (P.). – *La reconstruction du barrage de Denouval sur la Seine*. N° 19 (1980).

RUSCHER (M.). – *Radar, radio-téléphone et télévision au service de la navigation moderne*. N° 21 (1981).



CASILE (R.). – *La voie d'eau propose des solutions de transport nouvelles dans le Bassin Rhône-Saône*. N° 22 (1983).

TOMCZAK (W.). – *Les ports fluviaux, centres poly-nodaux de transport et de logistique*. N° 19 (1984).

LECORNU (J.). – *Étude économique des aménagements navigables en France*. N° 2 (1986).

MAZERAND. – *Le conteneur et le Ro/Ro facteurs de réanimation du transport fluvial*. N° 6 (1986).

CHAPON. – *Quelques réflexions sur voies navigables de France*. N° 16 (1991).

Divers auteurs. – *La liaison Rhin-Rhône, maillon manquant de l'Europe des Transports*. N° 18 (1991).

RISSOAN. – *Le rôle des fleuves dans le cabotage maritime européen*. N° 18 (1992).

#### La Houille Blanche

PARDE (M.). – *Quelques considérations générales sur l'hydrologie du Rhin et sur les aménagements de ce fleuve*. N° 2, p. 101-14 (1959).

COUTAGNE (A.). – *Initiation mathématique à l'hydrologie fluviale*. N° 2, p. 245-68, 8 fig., avril 1952.

CAPPUS. – *Le calcul des crues : résultats obtenus sur le terrain expérimental d'Alrance*. N° spécial, A, p. 159-67, fig. (1953).

SERRE (F.). – *Contribution à l'étude des écoulements permanents et variables dans les canaux*. N° 3, p. 374-88, fig. (1953).

GUMBEL (E.J.). – *Méthodes graphiques pour l'analyse des débits des crues*. N° 5, p. 709-25 (1956).

BERNIER (M.). – *Comparaison des lois de Gumbel et de Fréchet sur l'estimation des débits maxima de crues. Comportement asymptotique des courbes de débits classés*. N° 1, p. 47-56, 2 fig., 3 réf., janv.-fév. 1959.

GUMBEL (E.J.). – *Théorie statistique des débits d'étiage*. N° 1, p. 57-65, 5 fig., 2 réf., janv.-fév. 1959.

ROTTNER (J.). – *Entraînement des matériaux par charriage*. N° 3, p. 285-300, 10 fig., 3 tabl., mai-juin 1959.

BUJON. – *Modélisation de la dispersion des substances solubles dans un cours d'eau*. N° 1 (1983).

MAMET (J.). – *Revêtement anti-usure des barrages du Rhône*. N° 3, 4 (1983).

BOULOC (J.). – *Détermination des pertes de charge des barrages mobiles en rivière et des dimensions de la protection du lit en aval*. N° 3, 4 (1983).

BORDIEC (J.). – *La gestion automatisée d'aménagements fluviaux à buts multiples*. N° 6 (1986).

Divers auteurs. – *Prévisions des crues*. N° 5, 6 (1988).

Divers auteurs. – *Les passes à poissons*. N° 1, 2 (1987).

RAHUEL (J.). – *Modèle d'évolution des lits alluvionnaires soumis à charriage*. N° 3, 4 (1989).

SAVEY (P.). – *Aménagements à buts multiples des grands fleuves*. N° 7, 8 (1991).

#### Travaux

FAURE (R.). – *Travaux de consolidation et étanchement des maçonneries des ponts-canaux*. N° 259, p. 263-72 (1956).

GEOFFROY (L.). – *Travaux d'étanchement des digues*. N° 259, p. 257-62 (1956).

DELATTRE (P.). – *L'aménagement du Rhône*. Tiré à part de Travaux, Numéro spécial consacré au sixième Congrès International des grands barrages, p. 695-705, 8 ph., 3 cartes-plans, 7 fig., 1 tabl., août 1958.

TENAUD (R.). – *Les équipements mécaniques et électriques et l'automatisation des écluses*. N° 412, p. 374-8, 16 fig., juil. 1969.

ROUSSET (J.). – *Défenses de berges. Différents procédés de défenses utilisés sur la liaison Dunkerque-Valenciennes*. N° 427, p. 48-51 (1970).

ARIGO et RENAUDAT. – *Canal du Rhône au Rhin. Traversée de Mulhouse. Travaux expérimentaux. Exécution de murs de quai en parois moulées*. Lot n° 2 quai d'Oran Sté Fondedile. N° 430, p. 15-17, janv. 1971.

RACTMADOUX (X.). – *Les barrages mobiles en rivière*. N° 423 (1970).

GEMAEHLING (C.) et SAVEY (P.). – *Les deux aménagements les plus récents du Bas-Rhône Vallabrigues et Saint-Vallier*. N° 423 (1970).

TENAUD (R.). – *L'automatisation des ouvrages de navigation intérieure*. N° 587 (1984).

PARIZOT (L.). – *La pente d'eau de Fonserannes*. N° 587 (1984).

AUBERT (J.). – *Philosophie de la pente d'eau*. N° 587 (1984).

RICARD (C.). – *Dragages d'entretien de l'aménagement du Rhône*. N° 670 (1991).

Divers auteurs. – *Les agences de l'eau*. N° 676 (1992).

TRIADOU (J.). – *Télécommande et télégestion des écluses du canal Saint-Denis*. N° 680 (1992).

#### Annales des Ponts et Chaussées français

TCHEREPENNIKOW (L.). – *L'emploi des produits bitumineux dans les revêtements des canaux et rivières*. N° 5, p. 573-607, 19 fig., sept.-oct. 1951.

BONNEFOY (G.). – *Le profil d'équilibre des rivières à fond mobile*. N° 3, p. 283-322 (1955).

GEOFFROY (L.). – *Étanchement des canaux de navigation intérieure, des étangs et des rigoles d'alimentation*. N° 2, p. 189-206 (1956).

JACQUIER (E.). – *Essai sur la formation des crues*. N° 5, p. 551-77, 6 fig., 10 réf., sept.-oct. 1959.

CHABERT (J.). – *Étude du mouvement de l'eau et des efforts d'arrimage des bateaux dans une pente d'eau*. P. 67-90 (1968).

#### Annales des Travaux Publics de Belgique

DUBUS (V.). – *Contribution au calcul des portes d'écluses*. N° 3, p. 278-84, 13 fig., juin 1959.

#### Revue Générale Hydraulique

LHERMITE (P.) et GERLIER (P.). – *Étude de la protection des berges des canaux de navigation contre les érosions produites par le batillage*. N° 74, p. 75-90 (1956).

#### Centre de Recherches du Génie Rural

LABYE (G.). – *Procédé de calcul des canaux à profil en long horizontal*. N° 27 (1955) ; n° 29 (1956).

LABYE (G.). – *Étude des canaux à profil en long horizontal et des courbes de remous*. N° 33, 14 p., 7 fig. (1957).

#### La Technique des Travaux

TOTH (I.). – *Les barrages dégonflables (Collapsible Darh). Application à la construction d'un barrage sur la rivière Susquehanna (États-Unis)*. N° 7 et 8, p. 231-6, juil.-août 1970.

#### Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics

LONG-DEPAQUIT (A.). – *Problèmes techniques posés par les conceptions nouvelles en matière de barrages fluviaux*. Série : questions générales (60), n° 178, p. 932-53, 46 fig., oct. 1962.

#### Construction

LOUBATON (M.). – *Progrès dans la technique et l'hydraulique de construction des grandes écluses du canal d'Alsace sur le Rhin*. N° 3, p. 149-60, 22 fig., mars 1960.

#### Le Génie Civil

PAPPAULT (R.). – *Le plan incliné de Ronquières sur le canal de Bruxelles à Charleroi, pour chalands de 1 350 t*. N° 1, p. 2-8, 12 fig., 1<sup>er</sup> janv. 1964.

Étanchéité des ouvrages hydrauliques par chapes souples préfabriquées. Procédé Acco de l'Entr. Albert Cochery. N° 9, p. 407-12, août-sept. 1970.

#### EDF. Bulletin des Études et Recherches

RAMETTE (M.). – *Protection de talus au moyen d'enrochements*. Chatou, n° 3 (1963).

Divers auteurs. – *Retenue et faune piscicole : débit réservé et transit des poissons migrateurs*. Série A, n° 2 (1989).

#### Société hydrotechnique de France

■ 15<sup>e</sup> journée de l'Hydraulique. Question V (1978)

TENAUD (R.). – *Les projets de grandes liaisons navigables et les problèmes de l'eau*. Rapport 10.

MOMAL (D.). – *Effets de la canalisation à grand gabarit sur la qualité des eaux du Doubs*. Rapport 11.

■ Comité Technique n° 116 (19 novembre 1980)

PETITJEAN (A.). – *Évolution conception des écluses*.

FAUCONNIER (B.). – *Présentation projet pente d'eau à grand gabarit*.

MICHEL (J.). – *Influence du mouillage dans le sas d'une écluse et de la présence de bassin d'épargne sur la durée d'éclusement*.

■ 19<sup>e</sup> journées de l'Hydraulique. Question IV (1986)

CHOPARD (C.). – *La rivière et ses berges, environnement et loisir : la Marne en Île-de-France*. Rapport IV 2.

VANTHIENEN (N.). – *Un impact particulier de l'aménagement du Rhin : le tourisme fluvial et les activités de loisir nautique*. Rapport IV 3.

RICARD (C.). – *Rétention et évacuation des matériaux en transit au fil des retenues du Rhône aménagé*. Rapport IV 4.

GOSSE (P.) et SALLERON (J.). – *Le rôle d'une chute d'eau dans le bilan d'oxygène dissous d'une rivière. Application au barrage de Pont-à-Mousson sur la Moselle*. Rapport IV 5.

STEIN (M.). – *Propagation des crues du bassin de la Seine et efficacité des barrages réservoirs*. Rapport IV 13.

BRAVARD (J.). – *Évolution spatio-temporelle des systèmes fluviaux aménagés : recherches méthodologiques sur le Haut-Rhône français*. Rapport IV 18.

■ Comité Technique, n° 143, 14 novembre 1991

LARINIER (M.). – *Le franchissement des barrages par les poissons migrateurs*.

PINATEL (R.). – *Le batardeau à aiguilles du barrage de Saint-Pierre-de-Bœuf sur le Rhône*.

LEMPERIERE (F.). – *Hausses submersibles et fusibles Hydroplus*.

DILLON (A.). – *Barrages gonflables*.

■ 22<sup>e</sup> journées de l'Hydraulique (1992)

Question II D

9. 1. PONCET (C.). – *L'avenir de l'axe Rhin Rhône dans l'espace européen*.

9. 2. MEISTERMANN. – *Perspective d'avenir à la veille du marché unique et de l'ouverture de la liaison Rhin-Danube*.

Question IV B

6. RAMEZ (P.). – *Impact des extractions sur la dynamique d'une rivière*.

**En allemand**

BAUCH (W.). – *Die Hochwasserwelle in ungestauten und gestauten Fluss* (L'onde de crue dans un cours d'eau à écoulement libre et dans un cours d'eau à retenues). Die Wasserwirtschaft, n° 1, p. 11-15, 10 fig., bibl., 4 réf., janv. 1968.

CICIN (P.). – *Die Fischbauchklappe und verwandte Wehrsysteme* (Les clapets en « ventre de poisson » et les systèmes de vannes analogues). Bauingenieur, p. 367-74, oct. 1958 ; suite et fin, p. 425-32, 33 fig. ou ph., nov. 1958.

ILLIGER (J.). – *Ein neues Schiffshebewerk bei Henrichenburg* (Un nouvel ascenseur à bateaux à Henrichenburg, Allemagne). Die Bautechnik, n° 9, p. 329-32, 5 fig., sept. 1959.

KLINGAN (F.). – *Die Entwicklung des Baumethoden und Einrichtungen beim Bau der Innstufen von Wasserburg bis Passau* (L'évolution des méthodes suivies et aménagements pratiqués dans la construction des barrages sur l'Inn, de Wasserburg à Passau). Bauingenieur, n° 4, p. 109-23, 19 fig., 10 tabl., bibl. (20 réf.), avril 1968.

KUHN (R.). – *Die Hydratondichtung in der Haltung Bamberg der Großschiffahrtstrasse Rhein-Main-Donau* (L'étanchement à l'hydraton du bief de Bamberg sur le canal de grande navigation Rhin-Main-Danube). Die Wasserwirtschaft, p. 140-5, 11 fig., bibl. (4 réf.), mai 1965.

MAYER (R.). – *Ausbau des Neckarwasserstrasse* (Canalisation du Neckar). Die Wasserwirtschaft, p. 142-9, 8 fig., 4 ph., bibl. (14 réf.), mars 1958.

REMY-BERZENCOVICH (E.). – *Eine neue Methode zur Ermittlung des Feststofftriebes in Flussläufen* (Une nouvelle méthode de détermination du transport de matières solides dans les cours d'eau). Österreichische Wasserwirtschaft, n° 3 p. 59-66, 5 fig., 2 tabl., mars 1959.

TSCHOCHNER (F.). – *Die Donauregularisierung in Österreich* (La régularisation du Danube en Autriche). Österreichische Wasserwirtschaft, 9, n° 5-6, p. 110-23 (1957).

WELT (O.), SANDMEYER (O.) et SCHMAUSSER (G.). – *Ölhydraulische Schiffstosschutzvorrichtung am Untertor der 2. Schleuse Lauffen/Neckar* (Dispositif hydraulique, à huile pour la protection contre les chocs de bateaux à l'écluse n° 2 de Lauffen sur le Neckar). Die Wasserwirtschaft, p. 8-11, 7 fig., janv. 1963.

*Schiffshebewerke mit Kuppeltrog* (Élévateurs de bateaux à bacs couplés). Die Wasserwirtschaft, p. 392-94, 3 fig., nov. 1967.

**En anglais**

ALLEN (J.). – *An investigation of the stability of bed materials in a stream of water* (Recherches sur la stabilité des couches de matériaux dans un courant d'eau). Proc. Instn. civ. Engrs GB, 18, p. 1-34, 7 fig., 1 pl. h. t., mars 1942.

BAGNOLD (R.A.). – *Some flume experiments on large grains, but little denser than the transporting fluid, and their implications* (Expériences de suspension sur des grains de grandes dimensions, mais à peine plus denses que le fluide qui les transporte, et les conclusions à en tirer). Proc. Instn. civ., Engrs, Part III GB, 4, n° 1, p. 174-205 (1955).

COTTON (K.E.). – *The use of timber in the construction of sea defence and river works* (L'emploi du bois dans la construction d'ouvrages de défense contre la mer et de protection des berges des cours d'eau). Dock Harbour Author., 37, n° 430, p. 123-7, 17 fig., août 1956 ; n° 431, p. 166-9, 12 fig., sept. 1956.

EINSTEIN (H.A.). – *The Bed-Load* (La loi de transport des produits solides par un courant d'eau). Bulletin technique, n° 1026, Soil Conservation Service (Service de Conservation du sol), Ministère de l'Agriculture des États-Unis, sept. 1950.

HAAS (R.H.) et WELLER (H.E.). – *Bank stabilization by revetments and dikes* (Stabilisation des berges par des revêtements et des murettes). Proc. amer. Soc. civ. Engrs. Waterways Div., 78, n° 148, 12 p., 7 fig., sept. 1952.

NELSON (M.E.) et JOHNSON (H.J.). – *Eisenhower and Grass River lock models* (Modèles des écluses Eisenhower et Grass River). Proc. of the Amer. Soc. of Civil Engrs, 84, HY 2, n° 1582, 7 p. + 8 p., dess. et graph., avril 1958.

NIXON (N.). – *Emergency measures for the closing of breaches in flood defences* (Méthodes d'urgence pour l'aveuglement des ruptures des levées de protection contre les inondations). J. Instn. Waf. Engrs GB, 13, n° 5, p. 451-69, 6 pl. h. t. (1959).

RHONE (T.J.). – *Problems concerning use of low head radial gates* (Problèmes concernant l'utilisation de portes d'écluses radiales à faible hauteur de chute d'eau). Proc. amer. Soc. Civ. Engrs, J. Hydraul. Div. 85, n° 2, part I, p. 35-65 (1959).

RICHARDSON (G.C.) et WEBSTER (M.J.). – *Hydraulic design of Columbia river basin navigation locks* (Étude hydraulique des écluses pour la navigation sur la rivière Columbia). Proc. amer. Soc. civ. Engrs. J. Waterways Harbour Div., 84, n° 4, rapp. 1773, 24 p. (1958).

ROBINSON (A.R.) et ROHWER (C.). – *Measurement of canal seepage* (La mesure des infiltrations d'eau des canaux). Proc. amer. Soc. civ. Engrs, 81, n° 728, 20 p. (1955).

SHUKRY (A.). – *The efficiency of floor sills under drawnd hydraulic jumps* (L'efficacité des seuils horizontaux dans les déversoirs noyés). Proc. amer. Soc. civ. Engrs. J. Hydraulic Div., 83, n° HY 3, p. 1260-1 à 18 (1957).

SNYDER (F.F.). – *Synthetic flood frequency* (La fréquence de crues synthétiques). Proc. amer. Soc. civ. Engrs J. Hydraulic Div., 84, n° 5, part I, rapp. n° 1808, 22 p., 5 fig., 6 tabl. (1958).

TULTS (H.). – *Flood protection of canals by lateral spillways* (Protection des canaux contre les crues par l'aménagement de déversoirs latéraux). Proc. amer. Soc. civ. Engrs, 82, n° 1077, 17 p., 9 fig., 16 réf., oct. 1956.

TURNBULL (W.J.) et MANSUR (C.I.). – *Investigation of underseepage. Mississippi river levees* (Recherches sur les infiltrations sous les digues de protection du Mississippi). Proc. amer. Soc. civ. Engrs, n° SM 4, rapp. n° 2136, p. 41-93, 29 fig., 6 tabl., août 1959.

VANON (V.A.) et NOMICOS (G.N.). – *Resistance properties of sediments loaded streams* (Les propriétés de résistance des cours d'eau chargés de sédiments). Proc. amer. Soc. civ. Engrs J. Hydraulic Div., 85, n° HY 5, rapport n° 2020, p. 77-107, 11 fig., 5 tabl., 27 réf., mai 1959.

WHISLER (B.A.) et SMITH (Ch.J.). – *The estimation of the frequency of rare floods* (L'estimation de la fréquence des crues exceptionnelles). Proc. amer. Soc. Civ. Engrs, 83, n° 1200, 10 p., 5 fig., avril 1957.

**Revues Françaises et étrangères**

**Annales des Ponts et Chaussées.**

**Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation.**

**Bulletin** : l'Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation (citée ci-dessus dans les organismes) publie un bulletin et les comptes rendus des Congrès Internationaux ayant lieu tous les 4 ans (dernier congrès : Osaka 1990). Ces rapports constituent une documentation particulièrement intéressante. Notons qu'ils ne sont pas repris dans la bibliographie ci-avant.

**Dock and Harbour Authority.**

**Houille Blanche (la).**

**IWA Waterways.**

**Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division.**

Proceedings of the American Society of Civils Engineers.

**Label Voie d'eau.**

**Österreichische Wasserwirtschaft.**

**Rechnoï Transport** (Transport Fluvial).

**Revue de la Navigation. Ports et Industries.**

**Travaux.**

**Wasser- und Energiewirtschaft et Cours d'eau et Énergie** (bilingue).

**Wasserwirtschaft-Wassertechnik.**

**Organismes français et étrangers**

AIPCN/PIANC Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation/Permanent International Association of Navigation Congresses.  
CNR Compagnie Nationale du Rhône.  
EDF Électricité de France.

Ministère de l'Équipement, des Transports et du Tourisme : DTT Direction des Transports Terrestres.  
Port Autonome de Paris.  
Port Autonome de Strasbourg.  
VNF Voies Navigables de France.