

collection



*mise au point*

passes à  
poissons

expertise  
conception

des ouvrages de franchissement

# passes à poissons

## expertise et conception des ouvrages de franchissement

AU COURS DE CES DIX DERNIÈRES ANNÉES, LA NOUVELLE LÉGISLATION SUR LA PÊCHE ET LA GESTION DES RESSOURCES PISCICOLES, AINSI QUE L'APPLICATION DE LA CONVENTION SUR L'ENVIRONNEMENT SIGNÉE EN 1982 ENTRE ÉLECTRICITÉ DE FRANCE ET LE MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, SE SONT TRADUITS PAR LA RÉALISATION OU L'AMÉLIORATION DE PRÈS DE 300 OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT. COMPTE TENU DU RETOUR D'EXPÉRIENCE ACQUIS SUR CES RÉCENTS AMÉNAGEMENTS ET DU NOMBRE ENCORE IMPORTANT DE PROJETS À RÉALISER AU COURS DES PROCHAINES ANNÉES, IL A PARU URGENT DE PUBLIER UN DOCUMENT FAISANT L'ÉTAT DE LA TECHNIQUE ET ABORDANT PLUSIEURS THÈMES NOUVEAUX COMME LE FRANCHISSEMENT DES BUSES, LA CONCEPTION DES DISPOSITIFS DE FRANCHISSEMENT POUR L'ANGUILLE, LE CONTRÔLE DE L'EFFICACITÉ DES PASSES AINSI QUE LES PROBLÈMES POSÉS PAR LA MIGRATION DE DÉVALAISON.

AU-DELÀ DE SA FONCTION DE GUIDE TECHNIQUE, NOUS ESPÉRONS QUE CE DOCUMENT METTRA EN ÉVIDENCE ET SENSIBILISERA LE LECTEUR À L'ASPECT PLURIDISCIPLINAIRE DU DOMAINE DE LA CONCEPTION DES PASSES À POISSONS : TOUTE RÉALISATION D'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT REQUIERT IMPÉRATIVEMENT UNE COLLABORATION ÉTROITE ENTRE SPÉCIALISTES D'HORIZONS TRÈS DIVERS : BIOLOGISTES, HYDRAULICIENS, INGÉNIEURS EN GÉNIE CIVIL... C'EST CETTE APPROCHE PLURIDISCIPLINAIRE AU SEIN DE GROUPES DE TRAVAIL QUE L'ON A TENTÉ DE PRIVILÉGIER AUSSI SOUVENT QUE POSSIBLE, EN PARTICULIER LORS DE LA CONCEPTION DES OUVRAGES SITUÉS SUR LES GRANDS COURS D'EAU.

ON INSISTERA AUSSI SUR L'IMPORTANCE DU SUIVI DES AMÉNAGEMENTS APRÈS LEUR RÉALISATION : LA TECHNIQUE EST AVANT TOUT EMPIRIQUE DANS LE SENS OU LA PLUPART DES CRITÈRES DE DIMENSIONNEMENT ET DE CONCEPTION SONT ISSUS D'ÉTUDES EXPÉRIMENTALES PARTICULIÈRES OU DU RETOUR D'EXPÉRIENCE, C'EST-À-DIRE DES RÉSULTATS OBTENUS LORS DU SUIVI ET DE LA MISE AU POINT DES DISPOSITIFS EXISTANTS. A CET ÉGARD, LES OUVRAGES RÉCEMMENT CONSTRUITS EN FRANCE CONSTITUENT DÈS À PRÉSENT UN TRÈS RICHE TERRAIN QUI PEUT PERMETTRE D'AFFINER LES CRITÈRES DE DIMENSIONNEMENT DE CERTAINS DISPOSITIFS, D'EN OPTIMISER LES CONDITIONS D'EXPLOITATION ET D'EN PRÉCISER LES LIMITES DE FONCTIONNEMENT ; CES SUIVIS CONTRIBUERONT PAR AILLEURS À AMÉLIORER LA CONNAISSANCE SUR LES POPULATIONS ET LES RYTHMES DE MIGRATION DES DIFFÉRENTES ESPÈCES PEUPLANT NOS COURS D'EAU.

IL APPARAÎT ENFIN INDISPENSABLE DE POURSUIVRE ET D'INTENSIFIER LES PROGRAMMES DE RECHERCHES ET D'EXPÉRIMENTATIONS TANT SUR L'AMÉLIORATION DES DISPOSITIFS DE FRANCHISSEMENT POUR CERTAINES ESPÈCES PARTICULIÈRES (ANGUILLE, BROCHET, OMBRE...) QUE SUR LES DIVERSES TECHNIQUES UTILISABLES POUR RÉSOUDRE DE MANIÈRE SATISFAISANTE LES PROBLÈMES POSÉS PAR LA DÉVALAISON DES JUVÉNILES OU DES ADULTES (SALMONIDÉS, ANGUILLES) AU NIVEAU DES CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES. ■

# 1 DISPOSITIFS DE FRANCHISSEMENT : BASES BIOLOGIQUES, LIMITES ET RAPPELS REGLEMENTAIRES

J. P. PORCHER, F. TRAVADE

1	Les poissons migrateurs : quelques définitions	16
2	Les obstacles à la circulation : principal facteur historique de la régression des espèces migratrices	19
3	Les exigences en matière de libre circulation	20
3.1	Les besoins de circulation varient suivant les espèces	20
3.2	La libre circulation est une exigence quasi permanente	22
3.3	La libre circulation n'est jamais définitivement acquise	24
4	Le rétablissement de la libre circulation : mode d'emploi, intérêt et limites	25
4.1	L'aménagement des obstacles exige des compétences en biologie et en hydraulique	25
4.2	L'équipement d'un obstacle avec une passe à poissons ne compense jamais en totalité les dommages causés aux migrateurs	25
4.3	La libre circulation n'est qu'un élément de la gestion des stocks de migrateurs	26
4.4	Les dispositifs de franchissement doivent être évalués en fonction de leur intérêt biologique et économique et de leur coût	27
5	Rappels réglementaires	31
5.1	Les principes	31
5.2	Les textes	32
6	Notion d'efficacité des passes à poissons	34

## 2

**GENERALITES SUR LES DISPOSITIFS  
DE FRANCHISSEMENT****M. LARINIER**

1	Principe des passes à poissons	36
2	Les différents types de dispositifs de franchissement	38
3	Critères de choix d'un dispositif de franchissement	42
4	Principales causes de mauvais fonctionnement des passes à poissons	46

## 3

**FACTEURS BIOLOGIQUES A PRENDRE  
EN COMPTE DANS LA CONCEPTION  
DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT,  
NOTIONS D'OBSTACLE A LA MIGRATION****M. LARINIER**

1	Performances de nage des poissons et vitesses dans les dispositifs de franchissement	48
1.1	Les différents niveaux d'activité de nage	48
1.2	Vitesses de nage et endurance	49
1.3	Distances maximales franchissables dans un écoulement de vitesse donnée	54
1.4	Capacités de saut	56
1.5	Capacités de nage et dispositifs de franchissement	57
2	Eclairage des dispositifs de franchissement	60
3	Notion d'obstacle à la migration	62

## 4

**IMPLANTATION DES PASSES A POISSONS****M. LARINIER**

1	Attractivité des dispositifs de franchissement	64
2	Facteurs intervenant dans le choix de l'implantation d'une passe	65
3	Conditions hydrodynamiques, vitesses et débit à l'entrée de l'ouvrage	74
3.1	Conditions hydrodynamiques	74
3.2	Vitesses	77
3.3	Débit	80
3.4	Injection du débit d'appoint dans l'ouvrage de franchissement	81
4	Protection des ouvrages de franchissement	84

## 5

**PASSES A BASSINS SUCCESSIFS,  
PRÉBARRAGES  
ET RIVIÈRES ARTIFICIELLES****M. LARINIER**

1	Principe des passes à bassins successifs	86
2	Dénivellation entre bassins et nature des écoulements	87
3	Dimensions des bassins	89
4	Dimensions minimales des échancrures des orifices et des fentes	91
5	Estimation des débits dans une passe à bassins	92
6	Calage d'une passe à bassins	97
7	Adaptation des passes à bassins aux variations des niveaux amont et aval	99
8	Sections de régulation	101
9	Intérêt des passes à bassins	104
10	Exemples de passes à bassins	105
10.1	Passe de type Ice Harbor	105
10.2	Passe à échancrures latérales profondes et à orifices noyés	108
10.3	Passe à poissons blancs et à truites (Allemagne, Suisse)	110
10.4	Passe à fentes verticales	111
10.5	Passe à échancrures triangulaires	115
11	Les prébarrages	117
12	Les rivières artificielles	120

## 6

## LES PASSES A RALENTISSEURS

## M. LARINIER

1	Principe	126
2	Caractéristiques et fonctionnement	127
3	Intérêt et limite des passes à ralentisseurs	130
4	Les différents types de passes à ralentisseurs	131
4.1	Généralités	131
4.2	Passes à ralentisseurs plans	132
4.3	Passes à ralentisseurs de type Fatou	138
4.4	Passes à ralentisseurs de fond suractifs	141
4.5	Passes à ralentisseurs à chevrons épais dites "passes mixtes poissons - canoës-kayaks"	145
4.6	Passes à ralentisseurs de type Alaska	150

## 7

**ECLUSES ET ASCENSEURS A POISSONS****F. TRAVADE, M. LARINIER**

1	Ecluses à poissons	152
1.1	Principe et fonctionnement	152
1.2	Efficacité des écluses à poissons	155
1.3	Utilisation des écluses de navigation pour la remontée des poissons	157
2	Ascenseurs à poissons	158
2.1	Principe de fonctionnement	158
2.2	Critères de conception	164
2.3	Dimensionnement et fonctionnement	168
2.4	Maintenance et entretien	169
2.5	Avantages et inconvénients des ascenseurs à poissons	171

# 8 LE FRANCHISSEMENT DES BUSES, DES SEUILS EN ENROCHEMENTS ET DES OUVRAGES ESTUARIENS

M. LARINIER

1	Le franchissement des buses par les poissons migrateurs	172
1.1	Problèmes posés à la migration du poisson par les buses	172
1.2	Lignes directrices pour la conception et l'installation de buses franchissables	174
■	Exigences pour le passage du poisson	174
■	Critères de conception et d'installation d'une buse franchissable	175
1.3	Défecteurs	178
■	Cloisons déversantes à crêtes horizontales, à échancrures ou fentes	178
■	Cloisons déversantes à crête triangulaire	180
■	Dispositifs "offset"	180
■	Dispositif "spoiler"	181
■	Impact des déflecteurs sur l'écoulement	182
2	Le franchissement des seuils en enrochements	183
3	Le franchissement des obstacles estuariens et côtiers	186

## 9

**LA CONCEPTION DES DISPOSITIFS  
DE FRANCHISSEMENT POUR LES ALOSES****M. LARINIER, F. TRAVADE**

1	Introduction	190
2	Capacité de nage et comportement migratoire de l'alose	191
2.1	Capacité de nage	191
2.2	Comportement migratoire	192
3	Les passes à bassins	193
4	Les passes à ralentisseurs	198
5	Les ascenseurs et écluses	201
6	Attrait et implantation des passes à aloses	202
7	Efficacité des passes à aloses	203

## 10

## LES PASSES A ANGUIILLES

## J.P. PORCHER

1	Rappels biologiques	204
1.1	Colonisation des milieux aquatiques continentaux	204
1.2	Grande variété des stades migratoires	205
1.3	Capacités de nage et typologie des obstacles à la migration	206
1.4	Des problèmes spécifiques à la dévalaison	207
2	Les différents moyens de franchissement des obstacles	207
2.1	Manœuvres d'ouvrages en estuaire	207
2.2	Passage dans les passes à poissons classiques	208
2.3	Les passes spécifiques aux civelles et aux anguilletes	208
3	Conception des dispositifs de franchissement pour les civelles et les anguilletes	209
3.1	Principe de l'aménagement	209
3.2	La rampe de montée	210
3.3	La partie amont	211
3.4	Implantation sur le site	213
3.5	Observations sur l'état de la technique	215

## 11

## CONCEPTION DES PROJETS DE PASSES, SUIVI DES CHANTIERS, COÛTS, ETUDES SUR MODELES REDUITS

J.P. PORCHER, M. LARINIER

1	La conception d'un projet de passe	216
1.1	Recueil d'informations préliminaires	216
■	Données biologiques	217
■	Données hydrologiques et qualité des eaux	218
■	Caractéristiques de l'aménagement	219
1.2	Conception de l'ouvrage	221
■	Détermination de la plage de fonctionnement de la passe à poissons en débits et niveaux	221
■	Choix des débits dans la passe à poissons	222
■	Choix du type de passe	222
■	Implantation sur le site	224
■	Dimensionnement et calage du dispositif	224
2	Le suivi de chantier	225
2.1	Généralités	225
2.2	Programmation du chantier	225
2.3	Exécution des travaux	226
■	Interprétation des plans et implantation de l'ouvrage	226
■	Suivi des travaux	227
2.4	Réception des travaux	227
3	Coût des passes à poissons	228
3.1	Passes à bassins successifs	228
3.2	Passes à ralentisseurs	230
3.3	Ascenseurs	230
4	Les modèles réduits physiques	231

## 12

**LES TECHNIQUES DE CONTRÔLE  
DES PASSES A POISSONS****F. TRAVADE, M. LARINIER**

1	Intérêt du contrôle des passes a poissons	232
2	Contrôle du fonctionnement hydraulique et mécanique	233
2.1	Paramètres hydrauliques	233
2.2	Paramètres mécaniques	233
2.3	Obstruction et colmatage de la passe	234
3	Recueil d'informations biologiques qualitatives ou semi-quantitatives	234
4	Comptage des poissons dans les passes	235
4.1	Piégeage	235
4.2	Compteur automatique à résistivité	238
4.3	Comptage visuel ou par enregistrement vidéo	241
4.4	Comptage et reconnaissance automatique par analyse d'image	246
5	Estimation de l'efficacité réelle d'un ouvrage de franchissement	248
5.1	Méthodes quantitatives ou statistiques	248
5.2	Méthodes comportementales	249

**13****LA MIGRATION DE DÉVALAISON :  
PROBLEMES ET DISPOSITIFS****F. TRAVADE, M. LARINIER**

<b>1</b>	Espèces et stades concernés par la dévalaison	<b>252</b>
<b>2</b>	Problèmes posés dans les cours d'eau aménagés	<b>252</b>
<b>2.1</b>	Effets dus à la présence de retenues	<b>253</b>
<b>2.2</b>	Passage par les déversoirs et évacuateurs de crues	<b>253</b>
<b>2.3</b>	Passage dans les turbines hydrauliques	<b>255</b>
<b>2.4</b>	Entraînement dans les prises d'eau industrielles ou agricoles	<b>257</b>
<b>3</b>	Aménagements pour la dévalaison	<b>257</b>
<b>3.1</b>	Possibilités de passage dans les turbines et/ou les déversoirs	<b>257</b>
<b>3.2</b>	Barrières physiques	<b>259</b>
<b>3.3</b>	Barrières comportementales	<b>261</b>
<b>3.4</b>	Exutoires de dévalaison (by-pass)	<b>264</b>

## 14

**BARRIERES D'ARRET ET DE GUIDAGE  
POUR LA MIGRATION DE MONTAISON****F. TRAVADE, C. GOSSET**

1	Principe	270
2	Barrières physiques	271
2.1	Grilles	271
2.2	Seuils	274
3	Ecrans électriques	276
3.1	Principe	276
■	Réaction du poisson au courant électrique	276
■	Critères de choix	277
3.2	Exemple de réalisations appliquées aux migrateurs	278
■	Ecrans à double rangée d'électrodes	279
■	Ecrans à simple rangée d'électrodes	281
■	Ecrans à électrodes de fond multiples	282
3.3	Utilisation - perspectives	282
3.4	Précautions à prendre et aspects légaux	285

# DISPOSITIFS DE FRANCHISSEMENT : BASES BIOLOGIQUES, LIMITES ET RAPPELS REGLEMENTAIRES

## 1 LES POISSONS MIGRATEURS : QUELQUES DEFINITIONS

Les populations de poissons dépendent très étroitement des caractéristiques de l'habitat aquatique : celui-ci est le support de toutes les fonctions biologiques (reproduction, nutrition, locomotion...).

Cette dépendance est exacerbée chez les poissons migrateurs qui exigent des milieux différents pour le déroulement des phases principales de leur cycle biologique : reproduction, production de juvéniles, grossissement et production de géniteurs.

*La possibilité de circuler d'un milieu à l'autre est obligatoire pour la survie de l'espèce.*

On distingue deux grands groupes d'espèces migratrices :

- les migrateurs holobiotiques réalisent leur cycle biologique entièrement en eau douce : les zones de reproduction et les zones de grossissement sont plus ou moins éloignées.

Toutes les espèces se déplacent dans le réseau hydrographique, mais cette activité migratoire est plus ou moins importante pour le bon déroulement de leur cycle biologique. Chez des espèces telles que le brochet, la truite fario, la truite de lac, les zones indispensables aux phases successives du cycle biologique sont bien individualisées et

souvent séparées par des distances importantes : les besoins migratoires sont stricts pour le maintien d'une population en bon état. Chez d'autres espèces telles que l'ablette ou le gardon, ces besoins sont moins marqués mais il est nécessaire de maintenir une circulation d'individus entre les biefs pour éviter l'isolement reproducteur.

- les migrateurs amphibiotes doivent obligatoirement changer de milieu au cours de leur cycle qui se déroule pour partie en eau douce et pour partie en mer, avec des trajets entre zones de reproduction et zones de grossissement pouvant atteindre plusieurs milliers de kilomètres.

A chaque changement de milieu de vie, les migrateurs amphibiotes subissent des transformations physiologiques et morphologiques qui les rendent fragiles. Chez les juvéniles de salmonidés migrateurs, cette transformation porte le nom de smoltification. Elle leur permet de s'adapter à la phase de vie marine.

Chez les migrateurs amphibiotes, on distingue à nouveau deux groupes :

- les migrateurs potamotoques (saumon, alose, lamproie, esturgeon), dont la reproduction a lieu en eau douce et la phase de grossissement en milieu marin. La migration continentale est une migration de reproduction.
- les migrateurs thalassotoques (anguille), pour lesquels le schéma est inverse. La migration continentale est une migration trophique de colonisation.



Truite commune de la montagne bourbonnaise - 03



Brochet sur une zone de frai



Saumon

Les migrateurs potamotoques savent reconnaître leur réseau hydrographique natal et viennent s'y reproduire avec un taux d'erreur très faible. Ce phénomène de retour au foyer ("homing") repose principalement sur l'identification olfactive du cours d'eau. Il a pour conséquence que chaque bassin hydrographique possède un stock qui lui est propre et qui constitue une unité de gestion incontournable.

Dans le cas de l'anguille, les géniteurs se rassemblent dans la mer des Sargasses et on n'observe pas d'isolement reproducteur des individus issus de tel ou tel bassin : le stock d'anguilles est commun à l'ensemble de la façade atlantique européenne. ■



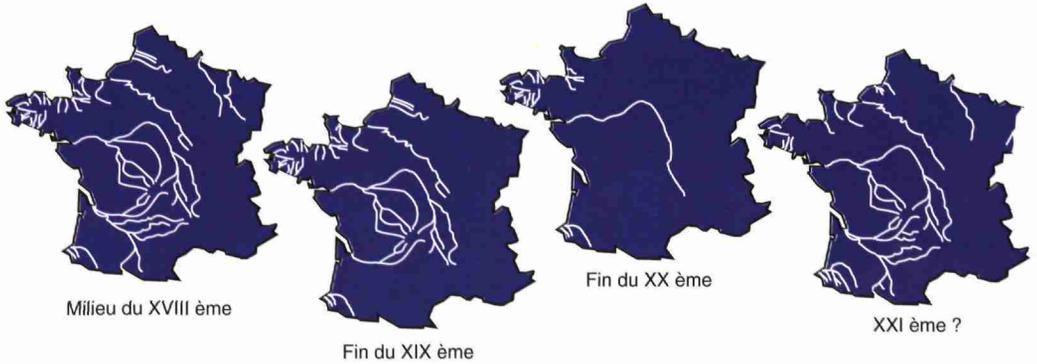
Aloses

## 2

## LES OBSTACLES A LA CIRCULATION : PRINCIPAL FACTEUR HISTORIQUE DE LA REGRESSION DES ESPECES MIGRATRICES

On a assisté en France au cours des derniers siècles à une réduction constante de l'aire de distribution des poissons migrateurs, réduction qui s'est accélérée avec le temps jusqu'à une période très récente.

Evolution du nombre de rivières fréquentées par le Saumon atlantique



La régression des espèces migratrices a été particulièrement importante chez les espèces amphibiotiques pour lesquelles le changement de milieu est obligatoire. Dans la grande majorité des cas, la cause essentielle de la régression ou de la disparition des migrateurs a été la construction d'obstacles à la circulation. Leur impact a jusqu'ici éclipsé très largement celui de la pollution des eaux ou des prélèvements par pêche. Ces obstacles sont la cause de la disparition de stocks entiers (saumon du Rhin, de la Seine, de la Garonne...), ou du cantonnement de certaines espèces dans une partie très réduite du réseau hydrographique (saumon de la Loire, alose de la Garonne ou du Rhône...).

Ce n'est que très récemment (décennie 1970), et grâce à la mise au point et à la mise en œuvre d'une technologie spécifique, que la tendance s'est inversée et que l'on a pu envisager la reconquête de territoires pour les migrateurs. Ce savoir-faire a permis la mise en place de programmes de restauration ou de développement des stocks de migrateurs. ■

## 3

## LES EXIGENCES EN MATIERE DE LIBRE CIRCULATION

## 3.1 Les besoins de circulation varient suivant les espèces

Le tableau 1.1 donne les caractéristiques biologiques des principales espèces migratrices amphibiotiques. Les zones de reproduction des espèces potamotoques sont réparties sur l'ensemble du réseau hydrographique : zones supérieures et moyennes pour les salmonidés, zones moyennes et inférieures pour les aloses et les lamproies. La colonisation du réseau hydrographique par l'anguille concerne l'ensemble du bassin.

Les bassins de la façade atlantique sont ainsi susceptibles d'accueillir les différents stades de l'une ou l'autre espèce migratrice dans la quasi-totalité de leur étendue.

Espèce Thalassotocque	Anguille	Caractéristiques du cycle biologique	Saumon <i>Salmo salar</i>
	Mer des Sargasses	Lieux de reproduction	Situation des lieux de reproduction
Mars à juillet	Date	Caractéristiques des sites de reproduction	Fonds de graviers sur cours d'eau
?	Durée d'incubation		Novembre - janvier
Supposée 1 an	Durée de la migration transocéanique	vie en eau douce	Incubation + résorption environ 3 mois
en plusieurs phases estivales	Colonisation des eaux douces	Dévalaison	1 à 2 ans
3 à 10 ans	Durée de vie en eau douce	en mer	Mars - juin
5 à 12 ans	Age minimum de première maturation		1 à 3 ans
Automnale et hivernale (pics avec les augmentations de débits)	Période de migration reproductrice (Dévalaison)	(Amontaison)	3 ans environ
Non	Fraies multiples		Variable suivant stocks Plusieurs montées pouvant couvrir pratiquement toute l'année
			Rares (< 10%)

tableau 1.1

Caractéristiques du cycle des

La restauration ou le maintien d'un stock de migrateurs ne peut aboutir que si les zones adéquates sont accessibles. Les stratégies d'aménagement devront tenir compte de la situation de l'obstacle dans le bassin et des espèces présentes :

- pour les tronçons de cours d'eau situés à l'aval des zones de reproduction (cas du saumon ou de la truite de mer), il est nécessaire de maintenir une libre circulation permanente et totale dès lors que des migrateurs sont présents au pied des obstacles.

Tous les ouvrages sans exception doivent être aménagés et les retards de migration au niveau de chaque obstacle doivent être d'autant plus réduits que l'axe migratoire est long et qu'il présente des aménagements nombreux,

- lorsque les obstacles sont situés au sein des zones de grossissement ou de reproduction, l'aménagement des obstacles les plus aval débouche sur un gain de production immédiat.

L'anguille et l'aloose illustrent ce cas de figure. Il est également nécessaire pour ces espèces de minimiser les délais de franchissement des obstacles car leur période d'activité migratoire est limitée dans le temps et, pour l'aloose, très proche de la date de reproduction,

#### Truite de mer

*Salmo trutta*

Zones supérieures et moyennes

Fonds de graviers sur cours d'eau

Novembre - janvier

Incubation + résorption environ 3 mois

1 à 2 ans

Mars - juin

1 été à 2 ans

3 ans environ

1 pic en juin - juillet  
1 pic automnal

Très fréquentes

#### Aloses

*Alosa alosa*  
*Alosa fallax*

Zones moyennes et inférieures

Fonds de galets sur cours d'eau - Oeufs pélagiques

Mai - juillet

Incubation :  
7 jours à 18°C  
4 jours à 22°C

3 à 6 mois

Estival et automnal  
Période de vie estuarienne

3 à 5 ans

Mâles : 3 ans - Femelles : 4 ans

Mars - juillet

Rares chez *A. alosa*, très fréquentes chez *A. fallax*

#### Lamproies

*Petromyzon marinus*  
*Lampetra fluviatilis*

Zones supérieures et moyennes

Fonds de graviers (saumon)

*P. marinus* : mars - juin  $t^{\circ} > 8$  à  $10^{\circ}C$   
*L. fluviatilis* : mai - juin  $t^{\circ} > 15^{\circ}C$

Incubation :  
*P. marinus* : 10 à 13 jours à 18,5°C

Vie larvaire : environ 4 - 5 ans

*P. marinus* : Octobre - février  
*L. fluviatilis* : Octobre - avril

*P. marinus* : 20 à 31 mois  
*L. fluviatilis* : 17 à 29 mois

6 - 7 ans

*P. marinus* : Décembre à mai  
*L. fluviatilis* : Octobre à avril

Non

#### Esturgeon

*Acipenser sturio*

Zones moyennes et inférieures

Fosses profondes dans le cours d'eau

Mai - juin

Incubation :  
3 jours à 19°C  
7 jours à 14°C

Environ 6 mois + plusieurs mois de vie estuarienne

Hivernale

Longévité > 60 ans  
Retour en estuaire des immatures "Mouvée de la Saint Jean"

Environ 10 ans

Mars - juin

Oui

- dans le cas des espèces holobiotiques à besoins migratoires limités (notamment les cyprinidés), il est nécessaire de maintenir une communication entre les biefs, mais le nombre de migrateurs à faire passer ne revêt pas la même importance. On attachera une attention particulière aux conditions hydrauliques dans l'ouvrage mais on peut tolérer une attractivité plus faible de la passe à poissons si elle n'est destinée qu'à ces espèces.

### 3.2 La libre circulation est une exigence quasi permanente

Sur les grands cours d'eau, le chevauchement des périodes migratoires des multiples espèces présentes oblige à maintenir les obstacles franchissables en permanence.

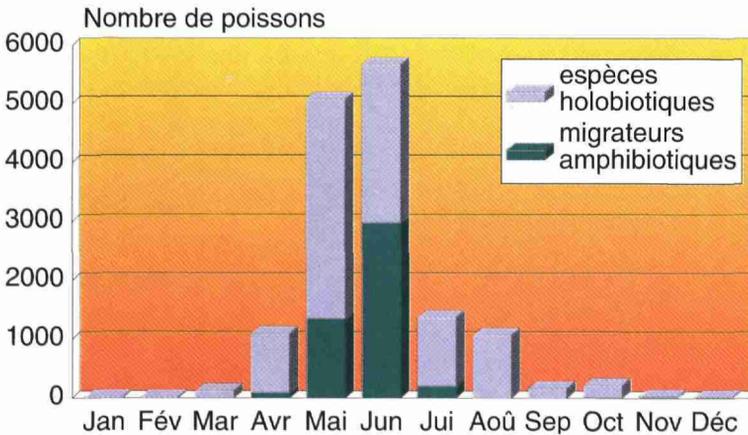
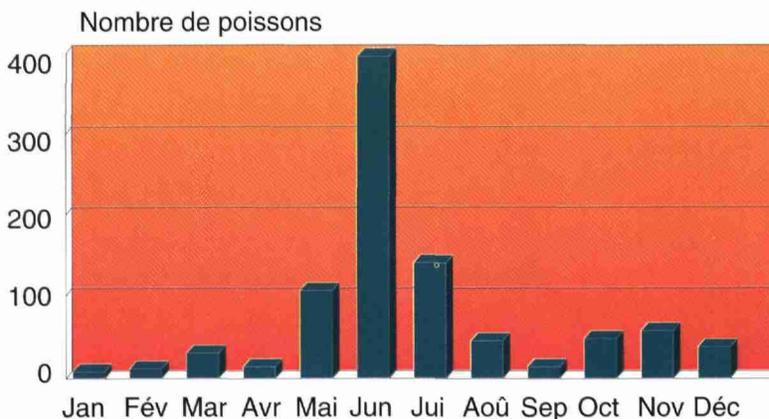


fig. 1.1

Passages mensuels enregistrés à la passe à poissons de Bergerac sur la Dordogne

Ceci est illustré par la figure 1.1 qui représente les effectifs moyens mensuels de migrateurs dénombrés sur la Dordogne dans la passe à poissons de Bergerac. L'important pic printanier (avril-juin) correspond à la migration reproductrice de l'aloise et au passage d'espèces holobiotiques. En dehors de cette pointe, la circulation des poissons est quasi continue, avec concentration de certaines espèces à des périodes préférentielles (par exemple saumons et truites de mer en fin d'année : octobre à décembre). Il faut noter que la conception du dispositif de piégeage de Bergerac ne permet pas de contrôler le passage des lamproies et de l'anguille, qui augmenteraient les effectifs printaniers et estivaux.

Sur les cours d'eau à saumons, il existe des remontées successives qui s'étalent sur plusieurs saisons, et peuvent couvrir la totalité de l'année lorsque les conditions hydroclimatiques sont favorables à la migration. La figure 1.2 donne les effectifs moyens mensuels de saumons capturés à la station de Kerhamon (rivière Elorn, Finistère). Le pic bien marqué des mois de mai, juin et juillet correspond à l'arrivée des grilses (saumons de court séjour marin très caractéristiques des cours d'eau du Massif Armoricaïn). L'activité migratoire se maintient avec une certaine variabilité tout au long de l'année.



Passages mensuels enregistrés à la station de contrôle de Kerhamon sur l'Elorn

fig. 1.2

Compte tenu du nombre d'espèces présentes, ce n'est qu'exceptionnellement et pour des périodes peu durables qu'on peut se dispenser d'assurer le franchissement d'un obstacle. Ceci peut arriver dans les zones supérieures de certains bassins atteints seulement à l'approche de la période de reproduction des salmonidés par exemple.

Mais, en tout état de cause, dès que des migrateurs sont présents au niveau d'un obstacle, la libre circulation doit être assurée. Les tentatives de franchissement d'un obstacle non équipé (ou mal équipé) provoquent des blessures ou des mortalités des migrateurs. Des observations réalisées sur des civelles et anguillettes bloquées à l'aval d'un barrage ont pu également mettre en évidence une mortalité importante par prédation.

### 3.3 La libre circulation n'est jamais définitivement acquise

La réalisation d'un dispositif de franchissement ne règle pas à elle seule le problème de la circulation des migrateurs. Ce dispositif doit être entretenu de façon permanente, et son efficacité doit être périodiquement vérifiée : tout changement de l'environnement est susceptible de remettre en cause son bon fonctionnement :

- modification des lignes d'eau consécutives à des travaux ou à l'instabilité du lit,
- modifications dans la gestion hydraulique du site (modification des ouvrages, installation ou suppression de turbines, nouveaux modes de fonctionnement).

*Le défaut d'un seul dispositif de franchissement sur l'axe migratoire suffit à ruiner la totalité des efforts consentis pour maintenir ou développer les stocks.*

*On devra donc considérer qu'un cours d'eau aménagé pour y rétablir la libre circulation doit être un cours d'eau sous surveillance permanente. Il n'est plus assimilable à un système naturel et doit impérativement être géré. ■*



Embâcle

# 4

## LE RETABLISSEMENT DE LA LIBRE CIRCULATION : MODE D'EMPLOI, INTERET ET LIMITES

### 4.1 L'aménagement des obstacles exige des compétences en biologie et en hydraulique

Les exigences biologiques des espèces migratrices sont à la base de la conception des ouvrages de franchissement. Le terme de "passe à poissons" masque d'ailleurs la diversité des situations, et il faudrait en fait parler de passes à salmonidés, à aloses, à cyprinidés ou à anguilles. La connaissance des capacités physiques de nage ou de saut des migrateurs (fortement dépendantes de l'espèce, de la taille et de l'état physiologique des individus, de la température...), et celle de leur comportement face aux obstacles ont permis de définir des critères de conception et de dimensionnement des dispositifs de franchissement pour certaines espèces. Ces critères ne doivent désormais plus être ignorés par le projeteur. Il devra en outre intégrer les informations propres au site à aménager et utiliser les compétences nécessaires en hydraulique et génie civil pour garantir le fonctionnement de l'ouvrage de franchissement dans toute la gamme de débits du cours d'eau habituelle en période de migration.

### 4.2 L'équipement d'un obstacle avec une passe à poissons ne compense jamais en totalité les dommages causés aux migrateurs

Le fait qu'un savoir-faire soit disponible en matière de rétablissement de la circulation des migrateurs ne doit pas laisser penser qu'on peut sans problème multiplier les barrages et les aménagements. D'une part, certaines nuisances apportées par la multiplication des équipements sur les cours d'eau sont irréparables (ennoisement de zones de frayères ou de production, modification de la qualité physico-chimique de l'eau, du régime hydrologique...). D'autre part, la passe à poissons la mieux conçue et la plus attractive induira toujours un retard de migration et l'effet cumulatif des aménagements sur un cours d'eau peut très vite atteindre des proportions non compatibles avec le maintien d'une population de migrateurs. Cet aspect est fondamental dans le cas des espèces exigeantes (aloses) et dans le cas de la migration d'avalaison qui peut s'accompagner de mortalités conséquentes au passage des turbines et évacuateurs de crue.

### 4.3 La libre circulation n'est qu'un élément de la gestion des stocks de migrateurs

La libre circulation est une condition nécessaire au maintien ou à la restauration des populations de migrateurs. Si ce facteur a pu, dans le passé, être la cause primordiale de la régression ou de la disparition de certaines espèces, il n'est désormais qu'un élément parmi d'autres à prendre en compte dans la politique de gestion d'un stock.

Une population de migrateurs est régulée par de nombreux autres facteurs dont certains ont connu une évolution récente :

- dégradation de la qualité des eaux et modification des débits naturels des cours d'eau,
- introduction ou dissémination de maladies ou parasites atteignant les espèces migratrices,
- altération de la qualité des habitats par les interventions physiques sur le cours d'eau (extractions de granulats, remodelages du lit), sur ses annexes (drainage de zones humides, isolement de plaines d'inondation), ou sur le bassin versant,
- développement de nouvelles pêcheries (sur les zones d'engraissement du saumon) ou accroissement de l'effort de pêche.

*Une politique de gestion d'un stock de migrateurs ne peut être élaborée qu'après une évaluation soigneuse de tous ces facteurs. Elle doit traiter de front tous les problèmes, sous peine de voir l'un d'entre eux devenir limitant et ruiner tous les efforts consentis par ailleurs.*



Truite de mer

#### 4.4 Les dispositifs de franchissement doivent être évalués en fonction de leur intérêt biologique et économique et de leur coût

Les objectifs des aménagements d'obstacles à la circulation sont :

- la minimisation des impacts de l'équipement hydraulique sur le cycle biologique des migrateurs dans le but de maintenir ou d'augmenter le stock,
- dans un nombre plus réduit de cas, la possibilité d'exploiter l'espèce sur un territoire plus vaste, dans la mesure où cette exploitation reste compatible avec le maintien du stock.

Dans chaque cas, on peut chercher à quantifier les bénéfices attendus et à les mettre en relation avec le coût du dispositif de franchissement. Une telle démarche permet :

- d'évaluer la "rentabilité biologique" de l'opération, qui dépend notamment de la position de l'équipement hydraulique dans l'aire de répartition de l'espèce. Si l'équipement d'un site qui se trouve à l'aval de toutes les zones de reproduction est strictement indispensable, on doit en revanche s'interroger sur la nécessité d'assurer le passage des géniteurs à l'amont d'un obstacle lorsque les zones de production situées à l'aval ne sont pas saturées et que la dévalaison des juvéniles n'est pas acquise sans mortalités substantielles,

- de définir un ordre de priorité dans la chronologie des chantiers lorsque de multiples ouvrages doivent être équipés sur des bassins ou des sous-bassins différents,

- de choisir entre plusieurs options d'équipement sur un même site, chacune d'entre elles présentant un "bénéfice biologique" et un coût propre.

Les principaux critères à prendre en compte sont les suivants :

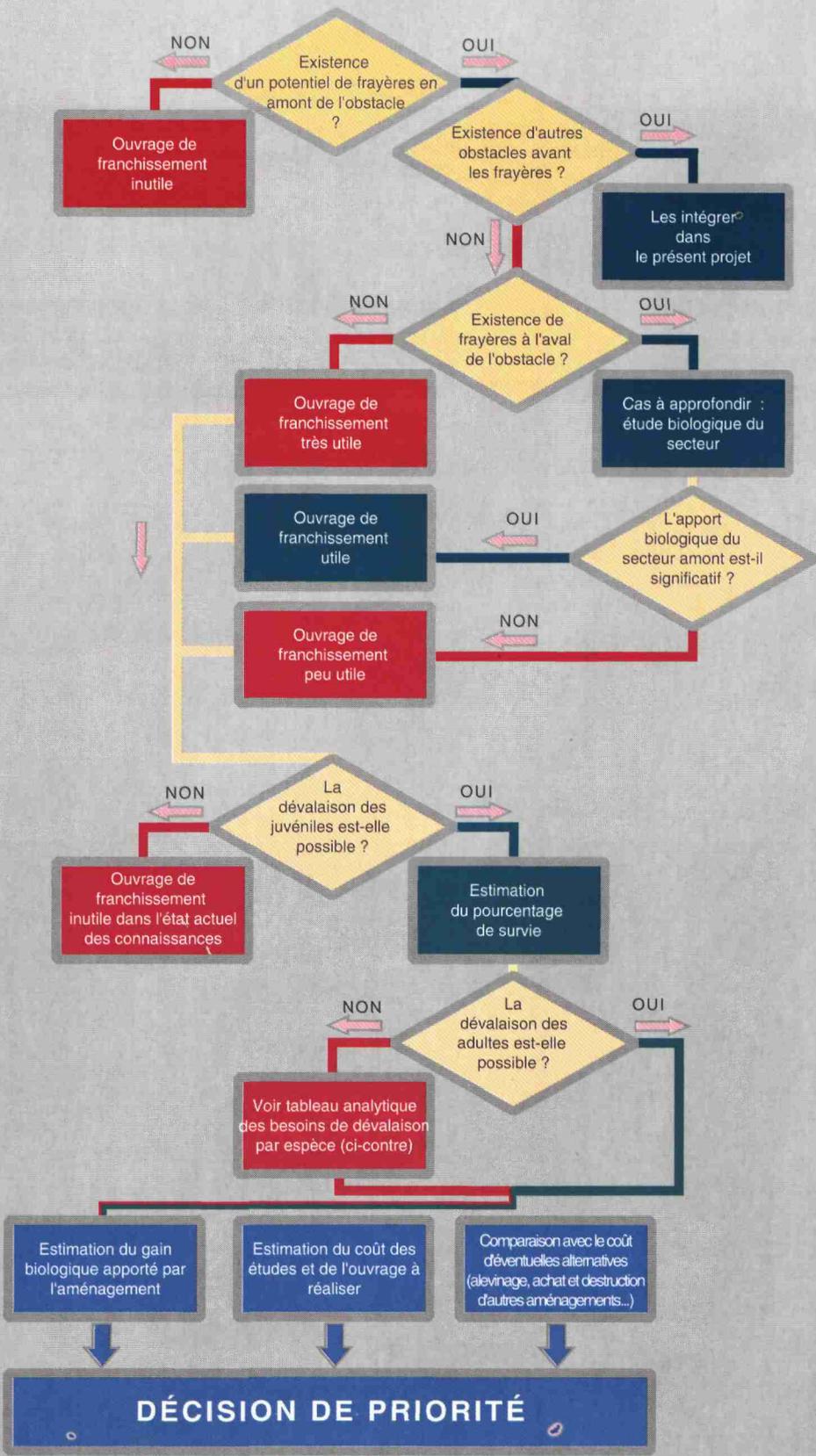
- potentiels de reproduction et de production à l'amont de l'obstacle,
- le cas échéant, existence et degré de saturation des zones de production situées à l'aval de l'obstacle,
- besoins de dévalaison, et capacité d'assurer le passage de l'amont à l'aval au niveau de l'obstacle (mortalités prévisibles),
- coût des dispositifs de franchissement pour la montée et la dévalaison,
- existence et coûts de solutions alternatives de compensation (élevage et repeuplement, abandon d'aménagements obsolètes permettant de récupérer des zones de production, ...).

La démarche à mettre en œuvre pour des migrateurs potamotoques (reproduction dans le milieu eau douce) est résumée dans le diagramme porté sur la figure ci-contre (figure 1.3).

Nécessité de la dévalaison		
1 : Indispensable		
2 : Importante		
3 : Utile		
4 : Inutile		
Espèces	Juveniles	Adultes
Saumon	1	3
Truite de mer	1	2
Lamproies	1	4
Grande alose	1	4
Alose finte	1	2
Anguille	-	1-3 (*)
Truite fario	1	1-2
Ombre	1	1-2
Brochet	1 - 3 (**)	1-3 (**)
(*) Dépend de la situation sur le cours d'eau		
(**) Dépend des conditions de sites		

fig. 1.3

Diagramme d'évaluation d'un aménagement pour restaurer la circulation des migrateurs holobiotiques ou amphibiotiques anadromes



Pour certaines espèces (saumon, et dans une moindre mesure truite de mer), des outils de mesure des différents critères existent et permettent de mener la réflexion à son terme :

- estimation des capacités de production basée sur la description quantitative des habitats piscicoles,
- évaluation de la situation actuelle par le dénombrement des migrateurs, le recensement des frayères ou la réalisation d'inventaires piscicoles,
- estimation des possibilités de dévalaison et des mortalités probables au passage dans les turbines ou les évacuateurs de crue,
- estimation du coût de réalisation des différents équipements pour le rétablissement de la circulation (montée et dévalaison), ou des solutions alternatives de compensation.

En revanche, pour d'autres espèces (aloses, lamproies par exemple), l'état des connaissances est beaucoup moins avancé, et les éléments d'appréciation pourront manquer pour alimenter avec précision l'ensemble de la démarche. ■

#### Frayère



# 5

## RAPPELS REGLEMENTAIRES

### 5.1 Les principes

Les articles L.232-5 à L.232-8 du code rural définissent les obligations des permissionnaires à l'égard de la circulation des migrateurs et répriment les infractions.

Les exploitants d'ouvrages sont tenus à une obligation de résultat et doivent assurer en permanence :

- la vie, la circulation et la reproduction des poissons dans le tronçon court-circuité. Les espèces concernées sont celles qui peuplent les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage.
- le franchissement des ouvrages dans les cours d'eau ou parties de cours d'eau dont la liste est fixée par décret, et pour les espèces définies par arrêté.

Un délai de mise en conformité de 5 années après le classement des cours d'eau et la parution de la liste des espèces est prévu pour les ouvrages existants.

La loi définit un débit minimal à maintenir dans le lit des cours d'eau, débit lui-même assujéti à l'obligation de résultat. La mise à disposition de ce débit, ou la réalisation des aménagements rendus nécessaires pour satisfaire aux dispositions de la loi n'ouvrent pas droit à indemnité.

Enfin, les circulaires d'application de ces textes précisent :

- d'une part que la réglementation d'ouvrages sans existence juridique, ainsi que le renouvellement d'autorisations ou de concessions sont assimilés à des créations et doivent remplir les conditions définies par la loi,
- d'autre part, que l'administration doit imposer aux nouveaux ouvrages les dispositifs de franchissement qui s'avèrent nécessaires aux espèces migratrices présentes ou en cours de réintroduction, y compris sur les cours d'eau non classés au titre de l'article L.232-6 du code rural.

## 5.2 Les textes

Code rural - Titre III : Pêche en eau douce et gestion des ressources piscicoles - Chapitre II : Préservation des milieux aquatiques et protection du patrimoine piscicole - Section 3 : Obligations relatives aux ouvrages

### *Article L.232-5*

*Tout ouvrage à construire dans le lit d'un cours d'eau doit comporter des dispositifs maintenant dans ce lit un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces qui peuplent les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage ainsi que, le cas échéant, des dispositifs empêchant la pénétration du poisson dans les canaux d'amenée et de fuite.*

*Ce débit minimal ne doit pas être inférieur au dixième du module du cours d'eau au droit de l'ouvrage correspondant au débit moyen interannuel, évalué à partir des informations disponibles portant sur une période minimale de cinq années, ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur.*

*Toutefois, pour les cours d'eau ou parties de cours d'eau dont le module est supérieur à 80 mètres cubes par seconde, des décrets en Conseil d'État pourront, pour chacun d'eux, fixer à ce débit minimal une limite inférieure qui ne devra pas se situer en dessous du vingtième du module.*

*L'exploitant de l'ouvrage est tenu d'assurer le fonctionnement et l'entretien des dispositifs garantissant dans le lit du cours d'eau le débit minimal défini aux deux alinéas précédents.*

*Les dispositions prévues aux alinéas précédents seront étendues aux ouvrages existant au 30 juin 1984 par réduction progressive de l'écart par rapport à la situation actuelle. Ces dispositions s'appliqueront intégralement au renouvellement des concessions ou autorisations de ces ouvrages.*

*Dans un délai de trois ans à compter du 30 juin 1984, leur débit minimal devra, sauf impossibilité technique inhérente à leur conception, être augmenté de manière à atteindre le quart des valeurs fixées aux deuxième et troisième alinéas du présent article. Dans un délai de cinq ans, le Gouvernement présentera au Parlement un bilan de l'application du présent alinéa.*

*L'application des dispositions du présent article ne donne lieu à aucune indemnité.*

*Les dispositions du présent article ne s'appliquent pas au Rhin et au Rhône en raison du statut international de ces deux fleuves.*

*Article L.232-6*

*Dans les cours d'eau ou parties de cours d'eau et canaux dont la liste est fixée par décret, après avis des conseils généraux rendus dans un délai de six mois, tout ouvrage doit comporter des dispositifs assurant la circulation des poissons migrateurs. L'exploitant de l'ouvrage est tenu d'assurer le fonctionnement et l'entretien de ces dispositifs.*

*Les ouvrages existants doivent être mis en conformité, sans indemnité, avec les dispositions du présent article dans un délai de cinq ans à compter de la publication d'une liste d'espèces migratrices par bassin ou sous-bassin fixée par le ministre chargé de la pêche en eau douce et, le cas échéant, par le ministre chargé de la mer.*

*Article L.232-7*

*Le classement des cours d'eau, parties de cours d'eau et canaux intervenu au titre du régime des échelles à poissons antérieurement au 1er janvier 1986 vaut classement au titre du premier alinéa de l'article L.232-6.*

*Article L. 232-8*

*Ceux qui ne respectent pas les dispositions des articles L.232-5 et L.232-6 seront punis d'une amende de 1 000 F à 80 000 F. Lorsqu'une personne est condamnée en application du présent article, le tribunal peut décider que le défaut d'exécution, dans le délai qu'il fixe, des mesures qu'il prescrit aux fins prévues aux articles susmentionnés entraînera le paiement d'une astreinte définie à l'article L.238-7. ■*

## 6

## NOTION D'EFFICACITE DES PASSES A POISSONS

L'obligation de résultats imposée par la loi en matière de libre circulation débouche sur la notion d'efficacité des ouvrages de franchissement, qui est actuellement mal définie. Une passe efficace pour une espèce donnée est-elle celle où il a transité au moins un individu ? ou toute la population présente au pied de l'obstacle ? ou bien une fraction définie de cette population ? la durée que met une population à franchir l'obstacle (retard à la migration) doit elle prise en compte ?

La formulation n'en est pas simple car la notion d'efficacité doit être mise en rapport avec la nécessité (ou l'intérêt) biologique de l'ouvrage. Elle est donc relative aux espèces considérées, au nombre d'obstacles sur les cours d'eau et à la position de l'obstacle sur ce cours d'eau.

Dans une passe à saumons ou truites de mer située à l'aval des zones de frayères, on cherchera à faire transiter la totalité de la population migrante. Si de surcroît ce cours d'eau est équipé d'un grand nombre d'obstacles, on cherchera en plus à minimiser le temps mis par les poissons pour l'emprunter de façon à ce qu'ils arrivent à temps sur les frayères. Si, par contre, cette passe est située à l'amont du cours d'eau au milieu de la zone de frayères on pourra être moins exigeant sur son efficacité.

Pour une passe à aloses, espèce caractérisée par une durée de migration très courte, l'efficacité de la passe résidera notamment dans la minimisation du retard au droit de l'obstacle.

Enfin, pour une passe à cyprinidés dont l'intérêt biologique est avant tout d'éviter la sectorisation des populations dans les différents biefs, il n'est pas nécessaire de chercher à faire transiter la totalité des populations présentes à l'aval d'un obstacle. La passe sera efficace si un "certain nombre" d'individus (en proportion "raisonnable" par rapport à la taille des populations) y transite.

Le niveau d'efficacité à atteindre pour les passes à poissons dépend aussi du degré d'aménagement du bassin : sur un cours d'eau comptant 3 obstacles à la migration, l'installation de passes à poissons ayant une efficacité de 60% assure le passage de 1/5 des migrateurs qui se présentent à l'embouchure. Sur un cours d'eau comptant 30 obstacles, il faudrait que tous les dispositifs de franchissement aient une efficacité de 95% pour arriver au même résultat.

Il en va de même vis-à-vis de l'efficacité de dispositifs de dévalaison destinés à minimiser les mortalités des juvéniles lors de leur transit dans les turbines ou les déversoirs de crue. Sur un cours d'eau où un certain pourcentage de mortalité par obstacle est jugé comme biologiquement acceptable, un ouvrage de dévalaison devra être d'autant plus efficace que la mortalité potentielle dans les turbines est élevée. Si on accepte par exemple 10% de mortalité moyenne par usine sur un cours d'eau et que la mortalité de transit dans l'usine A est de 20%, l'efficacité exigible pour l'ouvrage de dévalaison est de 50%. Pour l'usine B dont la mortalité de transit serait de 60%, l'efficacité exigible pour l'ouvrage de dévalaison est alors de 83%.

Par ailleurs, en fonction d'un objectif de mortalité maximale pour l'ensemble d'un bassin, l'exigence en matière d'efficacité des ouvrages de dévalaison est d'autant plus forte que le nombre d'obstacles est élevé.

D'une manière générale, l'impact potentiel d'un aménagement sur une population de migrateurs est d'autant plus marqué qu'il est situé plus bas sur le cours d'eau. Une attention toute particulière doit donc être portée à l'efficacité, tant pour la montée que pour la dévalaison, des aménagements situés dans la partie inférieure des cours d'eau.

En conclusion, le niveau d'efficacité à atteindre sur un site donné doit être défini par rapport aux objectifs biologiques recherchés, et non dans l'absolu. Il sera donc fixé en tenant compte de la situation de l'ouvrage dans le bassin, des capacités à assurer la dévalaison sur le site, et de l'impact des autres obstacles. Les objectifs définis pour l'ensemble du bassin ne pourront alors être atteints que par un accord dans l'action entre les exploitants d'ouvrage et les gestionnaires des populations piscicoles. ■

## **GENERALITES SUR LES DISPOSITIFS DE FRANCHISSEMENT**

# **1**

### **PRINCIPE DES PASSES A POISSONS**

Le principe général des dispositifs de franchissement consiste à attirer les migrateurs en un point déterminé du cours d'eau à l'aval de l'obstacle et à les inciter, voire à les obliger à passer en amont, en leur ouvrant une voie d'eau (passes à poissons stricto sensu) ou en les piégeant dans une cuve et en déversant celle-ci en amont (ascenseurs et systèmes de piégeage et de transport).

Pour qu'une passe puisse être considérée comme efficace, le poisson doit en trouver l'entrée, la franchir sans retard, stress ou blessures préjudiciables à sa migration vers l'amont.

La conception d'un dispositif de franchissement doit prendre en compte certains aspects du comportement des espèces migratrices. En particulier, son efficacité est fortement liée aux conditions hydrodynamiques et au respect de vitesses appropriées dans l'ouvrage.

Les vitesses doivent rester compatibles avec les capacités de nage des espèces concernées : les passes doivent permettre le passage de tous les individus et pas uniquement celui des "athlètes".

Certaines espèces sont très sensibles à certains régimes ou conditions d'écoulement : des chutes trop importantes, une aération et une turbulence excessives, l'existence de zones de recirculation trop vastes, des vitesses trop faibles peuvent être autant de causes de blocage pour le poisson.

Outre les facteurs hydrodynamiques, le poisson est sensible à d'autres paramètres environnementaux (teneur en oxygène dissous, température, bruit, odeur...) qui peuvent s'avérer dissuasifs. C'est le cas en particulier lorsque la qualité de l'eau alimentant la passe se distingue de celle transitant par le barrage (faibles teneurs en oxygène dissous, différences de température...).

Le poisson possède aussi des exigences ou préférences en ce qui concerne l'intensité lumineuse ambiante. Des conditions de lumière à l'entrée et dans l'ouvrage de franchissement trop différentes de celles existant au pied de l'obstacle peuvent s'avérer dissuasives : gradient d'éclairement trop violent à l'entrée d'ouvrage, conditions d'éclairage insuffisantes dans la passe ou au contraire éclairage de la passe la nuit pour les espèces lucifuges.

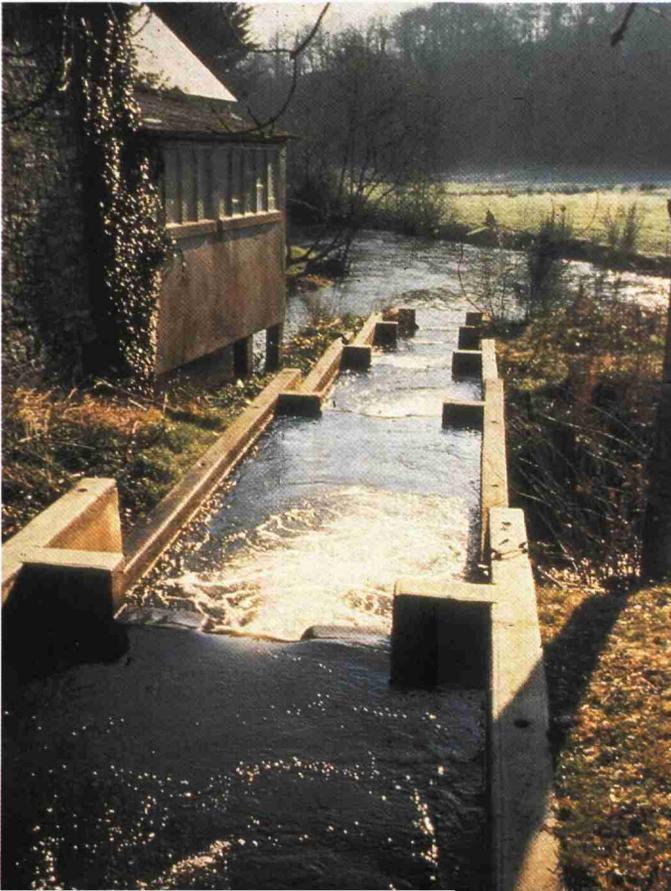
L'influence de la plupart de ces paramètres sur le comportement des espèces migratrices est cependant mal documentée à l'heure actuelle et provient le plus souvent d'observations ponctuelles ; c'est pourquoi elle est pour l'ingénieur difficilement traduisible en termes de critères de dimensionnement. ■

# 2

## LES DIFFERENTS TYPES DE DISPOSITIFS DE FRANCHISSEMENT

Le type de passe qui est le plus couramment utilisé est incontestablement la passe à bassins successifs ; elle consiste en une série de bassins partant du pied de l'obstacle et rejoignant le bief amont. Les cloisons séparant les bassins sont munis de déversoirs, d'orifices ou de fentes verticales par où transite le débit de la passe et qui contrôlent le niveau d'eau dans chaque bassin. Les bassins jouent un double rôle : ils assurent une dissipation convenable de l'énergie de l'eau transitant dans la passe tout en assurant des zones de repos pour le poisson. La dénivellation entre deux bassins successifs est fonction des espèces migratrices considérées. La pente d'une passe à bassins varie le plus souvent entre 10% et 15%.

Passé à bassins successifs sur le Steir (Finistère)



Dans les échelles à ralentisseurs - ou “Denil”, du nom de leur inventeur - sont disposés sur le fond et/ou sur les parois d’un canal à forte pente (jusqu’à 20%) des déflecteurs de formes plus ou moins complexes destinés à réduire les vitesses moyennes de l’écoulement en créant des courants hélicoïdaux.

Passé à ralentisseurs plans de Quinipily sur l’Evel (Morbihan)



L’écluse à poissons (ou écluse “Borland”) fonctionne suivant un principe voisin de celui d’une écluse de navigation : les migrateurs sont piégés dans un sas puis éclusés comme le serait un bateau.

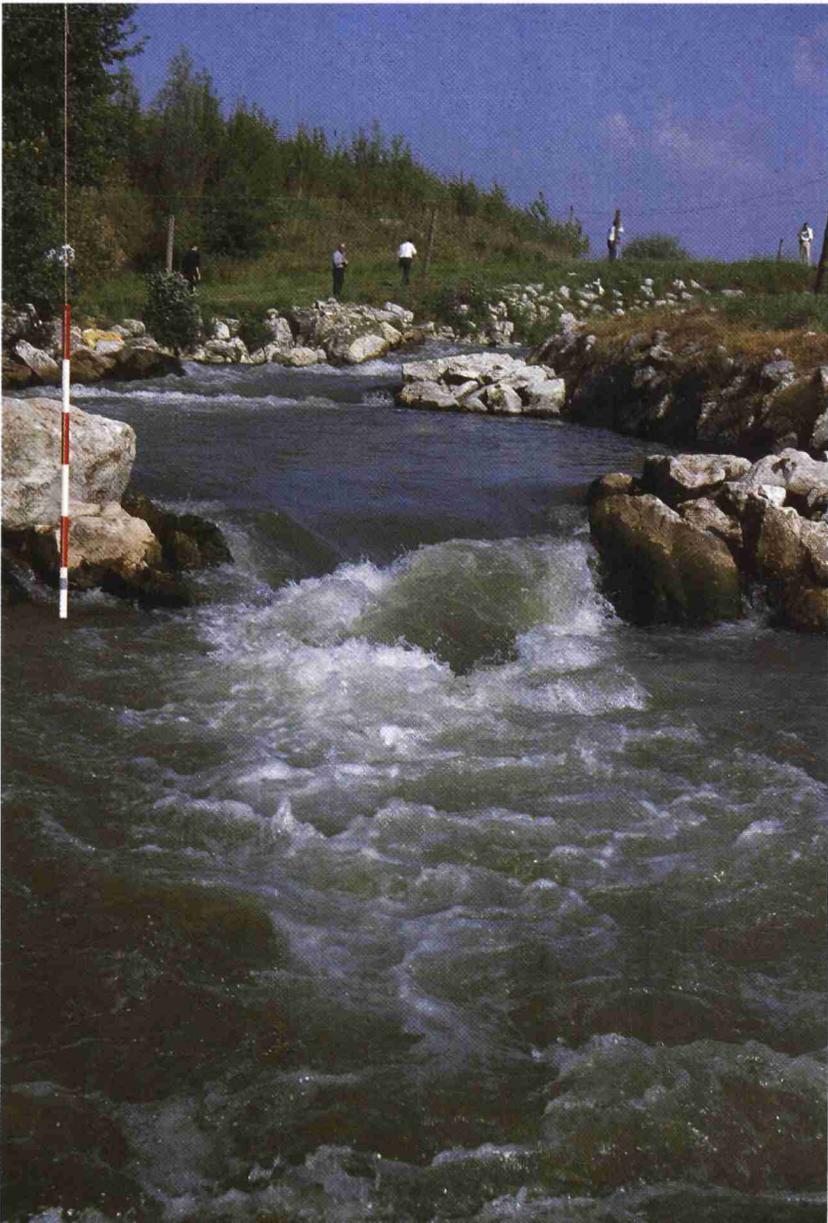
D’autres dispositifs consistent à piéger les migrateurs dans une cuve puis à les transférer à l’amont soit par ascenseur ou funiculaire, soit encore tout simplement par camion.

Ascenseur à poissons sur le Loc’h (Morbihan)



La passe de type “rivière artificielle” (parcours à canoë-kayak par exemple) consiste à relier biefs amont et aval par un chenal creusé dans l’une des rives, chenal dont le fond et les parois sont garnis de rugosités ou d’obstacles (épis, seuils...) reconstituant en quelque sorte un cours d’eau naturel. La pente d’un tel ouvrage ne peut cependant dépasser quelques pour cent ; son implantation, du fait de sa longueur, se révèle souvent problématique. Il s’intègre par contre très bien dans le paysage.

Rivière artificielle sur le Gave de Pau



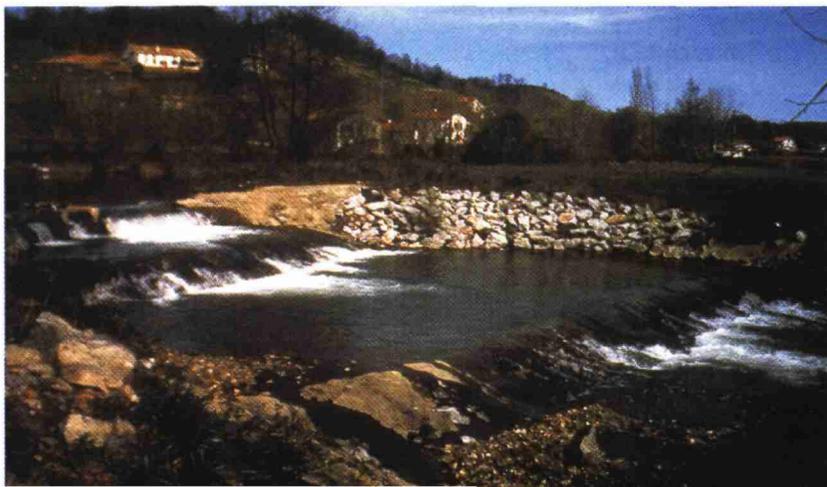


Passé en écharpe sur la Vire à Saint-Lô (Manche)

Il existe de nombreuses autres solutions atypiques qui consistent à aménager plus ou moins sommairement un obstacle pour en faciliter le franchissement par les migrateurs ; ces solutions restent cependant limitées aux obstacles de hauteur modérée. On citera les prébarrages, formés de plusieurs murets ou seuils installés à l'aval de l'obstacle créant des grands bassins fractionnant la chute. Ces prébarrages peuvent être installés sur une fraction importante, voire sur la totalité de la largeur du cours d'eau en aval de l'obstacle. Quelquefois une simple brèche, dans le cas d'un barrage à parement aval vertical, une écharpe ou une goulotte, dans le cas d'un seuil à parement aval incliné, se révèlent suffisantes pour assurer le passage du poisson.

Une dernière solution - aussi efficace que radicale - consiste à supprimer l'obstacle : ce peut être possible, dans le cas par exemple d'une ancienne chaussée de moulin qui n'est plus exploitée. Cette solution présente parallèlement l'avantage de recréer dans la zone d'influence amont de la chaussée des secteurs courants propices à la reproduction des adultes ou à la croissance des juvéniles. ■

Prébarrage en enrochements jointoyés au bitume de Zaldubia sur la Nivelle (Pyrénées-Atlantiques)



## 3

## CRITERES DE CHOIX D'UN DISPOSITIF DE FRANCHISSEMENT

Il n'existe pas un type de passe "miracle" plus efficace que tous les autres : l'expérience montre que de nombreuses passes à bassins, à ralentisseurs, de même que des ascenseurs se sont également révélés efficaces - ou inefficaces.

Il serait tentant de ranger les différents obstacles en plusieurs classes - suivant leur hauteur par exemple - et de proposer pour chacune d'elles et en fonction des espèces migratrices un type de passe approprié.

La multiplicité des contraintes et des facteurs (d'ordre biologique, hydrologique, hydraulique, topographique...) fait que chaque situation est un cas d'espèce et l'expérience montre qu'une telle classification rigide est susceptible au contraire d'entraîner de grossières erreurs ou des coûts prohibitifs.

Les quelques points suivants aideront à déterminer pour une situation donnée le type de passe le plus approprié :

■ *Lorsque l'on a affaire à plusieurs espèces migratrices (saumons, truites de mer, truites, poissons blancs...), la passe à bassins successifs est généralement la meilleure solution, beaucoup moins sélective que les passes à ralentisseurs.*

On dimensionnera la passe pour l'espèce la plus exigeante (en terme de chute entre bassins, de vitesses, de puissance dissipée volumique...).

Les passes à bassins à échancrures déversantes, associées ou non à des orifices de fond, sont les plus intéressantes car elles s'adaptent à de nombreux cas de figure : débit disponible de quelques dizaines de litres à plusieurs m<sup>3</sup>/s et variations de niveau amont significatives sans nécessiter l'installation d'une section de régulation à l'amont (vannes automatiques, orifices noyés...), à condition que les échancrures soient suffisamment profondes.

Les passes à fentes verticales sont particulièrement adaptées aux sites présentant de grandes fluctuations des niveaux d'eau amont et/ou aval. Pour les grands migrateurs, compte tenu de la largeur minimale de la fente à donner, elles nécessitent cependant des débits importants (supérieurs à 0.75 m<sup>3</sup>/s environ).

De façon générale, les passes à orifices noyés présentent peu d'intérêt, sauf en tant que section de régulation en tête d'un dispositif de franchissement, dans le cas de variation significative du niveau d'eau amont. Elles présentent par ailleurs l'inconvénient de piéger les corps flottants (bois, bouteilles, polystyrène...) qui viennent s'accumuler en surface dans les bassins sans pouvoir être évacués.

Dans le cas d'un cours d'eau à transport solide notable, on évitera l'installation de bassins trop profonds susceptibles de piéger les sédiments grossiers et on fera en sorte que les communications entre les bassins se fassent jusqu'au radier pour faciliter l'évacuation des matériaux.

L'alose pose un problème particulier pour la conception et le dimensionnement des passes à bassins : cette espèce est beaucoup plus sensible que les salmonidés aux conditions hydrodynamiques et des précautions particulières doivent être prises pour assurer son passage. De bons résultats ont été obtenus aux USA sur l'alose américaine (*Alosa sapidissima*) et en France sur la grande alose (*Alosa alosa*) en respectant un certain nombre de conditions : niveau de turbulence faible dans les bassins, échancrures ou fentes de largeur suffisante ( $> 0.45$  m) situées le long des parois, écoulements de surface évitant tout jet plongeant, limitation des zones de recirculation. Les passes à une ou deux fentes verticales se révèlent efficaces, en dépit d'un comportement d'aller et retour du poisson dans les bassins qui semble inhérent à l'espèce.

■ *Les passes à ralentisseurs sont relativement sélectives et ne sont adaptées qu'aux espèces possédant des capacités de nage suffisantes en terme de vitesse de nage et d'endurance (grands salmonidés migrateurs, lamproies, grands cyprinidés d'eau vive).*

Elles ne sont pas adaptées aux poissons d'une longueur inférieure à une trentaine de cm. Bien que des aloses aient été contrôlées dans plusieurs passes à ralentisseurs, il a été observé que cette espèce n'est pas à l'aise pour négocier les courants hélicoïdaux caractérisant l'écoulement dans ce type de passe et qu'elle s'y engage difficilement, sans doute à cause de l'aération et de la turbulence de l'écoulement.

Les passes à ralentisseurs sont particulièrement adaptées aux cours d'eau de petite ou moyenne importance sur lesquels le débit disponible pour le dispositif de franchissement n'est que de quelques centaines de litres/seconde et aux anciens seuils ou chaussées de moulins de faible hauteur à parement aval incliné dans lesquels elles s'intègrent facilement.

L'installation de ce type de passe perd généralement de son intérêt lorsque la hauteur de l'obstacle à franchir devient plus importante : la nécessité de prévoir des bassins de repos (tous les deux mètres de chute environ) augmente la longueur du dispositif et peut rendre tout aussi intéressante l'installation d'une passe à bassins successifs.

Certains types de passes à ralentisseurs (ralentisseurs de fond en chevrons épais) peuvent être utilisés comme glissières à canoë-kayak dans la mesure évidemment où on leur donne une largeur suffisante (1.40 m minimum).

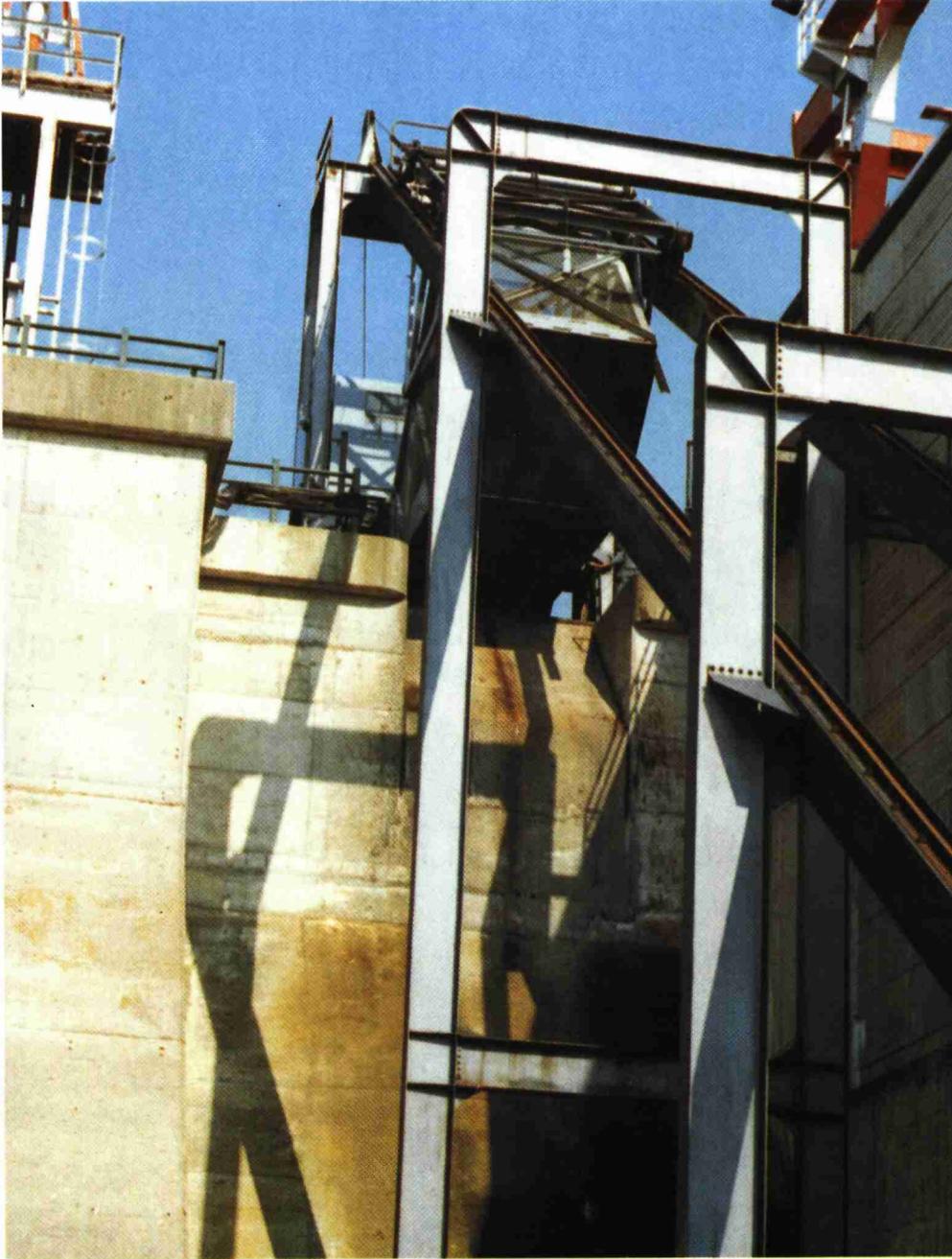
On évitera l'installation de passes à ralentisseurs dans les cours d'eau transportant des matériaux grossiers (gros galets, blocs) qui risquent de venir se déposer et se coincer entre les ralentisseurs, réduisant sinon annulant l'efficacité de ceux-ci. Par contre les courants hélicoïdaux générés dans ce type de passe sont capables d'évacuer sans problème les limons, sables et graviers.

■ *Pour les ouvrages de hauteur importante, l'installation d'un ascenseur ou d'une écluse Borland est plus facile et généralement moins coûteuse que celle d'une passe classique.*

L'écluse à poissons présente l'inconvénient majeur de posséder un fonctionnement discontinu ; on lui préfère généralement l'ascenseur dont la technologie a progressé ces dernières années en France. Par contre, la solution d'une écluse peut s'avérer intéressante pour un obstacle de hauteur modérée, lorsque la configuration de celui-ci exclut l'installation d'une passe classique.

L'efficacité d'un ascenseur est fortement liée à la porosité de ses grilles : son utilisation devient problématique pour les petites espèces qui exigent des grilles à espacements très réduits, d'un entretien trop astreignant.

La relative complexité du fonctionnement de ces deux types d'ouvrage (présence de plusieurs organes mobiles - vannes, cuves, grilles - automatisés) se traduit par des pannes ou des périodes de dysfonctionnement dont la fréquence et la durée peuvent s'avérer non négligeables. Les coûts de maintenance sont par ailleurs plus élevés que ceux afférents aux passes classiques. C'est la raison pour laquelle on peut leur préférer dans certains cas des passes "statiques" (sans aucun organe mobile) d'un génie civil plus coûteux mais d'un entretien moins lourd et d'un fonctionnement plus fiable. ■



Ascenseur sur un barrage aux USA

## 4

## PRINCIPALES CAUSES DE MAUVAIS FONCTIONNEMENT DES PASSES A POISSONS

Lorsqu'on analyse l'origine du dysfonctionnement des dispositifs de franchissement reconnus comme peu ou pas efficaces, un certain nombre de causes sont fréquemment évoquées :

- un manque d'attractivité de l'ouvrage, résultant soit d'une mauvaise localisation de l'ouvrage, soit d'un débit insuffisant, peu en rapport avec le débit du cours d'eau,
- un mauvais calage de l'ouvrage eu égard aux variations des niveaux d'eau amont et aval en période de migration, se traduisant par une sous ou une suralimentation de l'ouvrage, ou encore par une chute trop forte à l'entrée. Cela peut provenir soit d'une méconnaissance des conditions de niveaux lors de l'élaboration du projet, soit d'une évolution ultérieure de ces niveaux (gestion différente de l'ouvrage, abaissement du fil d'eau à l'aval...),
- un mauvais dimensionnement de l'ouvrage : bassins de volumes trop réduits se traduisant par une aération et des turbulences excessives, chutes entre bassins trop importantes, profondeurs d'eau insuffisantes pour le poisson, hydrodynamique des bassins non adaptée aux espèces migratrices,
- un colmatage ou un encombrement fréquent de l'ouvrage résultant soit d'une mauvaise protection contre les corps dérivants, soit d'une implantation trop exposée, soit tout simplement d'un défaut d'entretien de la part du propriétaire de l'ouvrage. L'encombrement par les corps dérivants peut se traduire par une mauvaise alimentation en eau de l'ouvrage (colmatage des pertuis, des grilles d'injection de débit d'attrait complémentaire...) et par une entrave au passage des poissons. A ce titre, les passes à ralentisseurs et les passes à bassins comportant des orifices noyés sont particulièrement vulnérables. Des obstructions même très partielles peuvent rendre le passage des poissons impossible sans pour autant induire de perturbations très visibles de l'écoulement,

- un mauvais fonctionnement des organes assurant la régulation du débit et des chutes de certains ouvrages (vannes asservies...) ou assurant le fonctionnement de l'ouvrage dans le cas des ascenseurs et écluses (vannes, treuils de manœuvre des grilles, de la cuve...).

Des causes externes à la passe elle-même peuvent également intervenir sur le fonctionnement de celle-ci. Il s'agit le plus souvent de l'altération de la passe consécutive à des manœuvres de vannes, à une gestion des turbines ou plus généralement à des conditions d'écoulement au pied de l'obstacle non prises en compte lors de la conception du projet ; cela peut se traduire par la perturbation de l'écoulement à l'entrée de la passe ou par l'attraction et le piégeage du poisson dans une zone relativement éloignée de celle-ci. ■

---

# FACTEURS BIOLOGIQUES A PRENDRE EN COMPTE DANS LA CONCEPTION DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT, NOTIONS D'OBSTACLE A LA MIGRATION

## 1 PERFORMANCES DE NAGE DES POISSONS ET VITESSES DANS LES DISPOSITIFS DE FRANCHISSEMENT

### 1.1 Les différents niveaux d'activité de nage

On distingue généralement chez le poisson [9 ; 7 ; 120] plusieurs niveaux d'activité de nage qui font appel à différents types de muscles :

- l'activité de croisière ("routine", "cruising" ou "sustained activity level" selon les auteurs), susceptible d'être maintenue pendant des heures sans engendrer de modifications physiologiques profondes de son organisme, faisant appel à des mécanismes d'activité musculaire aérobie (muscles "rouges").
- l'activité de sprint ou de pointe ("sprint" ou "burst activity level"), résultant d'un effort continu et intense ne pouvant être maintenue au-delà d'un certain temps (de quelques secondes à quelques dizaines de secondes suivant la taille de l'individu et la température de l'eau). On peut rattacher à ce niveau d'activité l'accélération brutale ("darting", "fast-start activity") et le saut, activités explosives de très courte durée. La puissance musculaire mise en œuvre est pratiquement totalement assurée par des mécanismes anaérobies (au niveau des

muscles "blancs") qui se traduisent par la décomposition du glycogène musculaire en acide lactique. Si les réactions anaérobies permettent de générer très rapidement une grande puissance musculaire, elles mettent néanmoins en jeu une énergie limitée dans la mesure où les réserves en glycogène des muscles sont limitées et où la concentration en acide lactique, à partir d'un certain seuil, a tendance à inhiber en retour la contraction musculaire.

- l'activité soutenue ("sustained", "prolonged activity level" selon les auteurs) est une activité de nage pouvant être maintenue pendant plusieurs minutes, mais qui à terme entraîne la fatigue du poisson. Cette activité de nage fait appel dans des proportions variables aux différents mécanismes aérobie et anaérobie, et d'autant plus aux mécanismes anaérobies que l'intensité de l'effort est plus grande.

## 1.2 Vitesses de nage et endurance

Un des principaux facteurs à prendre en compte dans la conception des dispositifs de franchissement est la capacité de nage des migrateurs concernés, qui s'exprime en terme de vitesse de nage et d'endurance, temps pendant lequel le poisson peut soutenir cette vitesse de nage.

La propulsion de la plupart des espèces dans leur activité de migration (en particulier le franchissement des obstacles) est assurée par l'ondulation du corps et de la nageoire caudale.

Des expérimentations [116] ont montré que la distance parcourue ( $A$ ) par le poisson à chaque ondulation du corps peut varier entre 0.6 et 0.8 fois sa longueur ( $L$ ). La vitesse de nage peut donc s'exprimer sous la forme :

$$V = Af$$

où  $f$  est la fréquence de l'ondulation du corps et de la nageoire caudale (nombre d'ondulations par seconde).

La vitesse maximale de nage est donc fonction de la fréquence maximale du battement de la nageoire caudale. Cette fréquence maximale est limitée par le temps minimum ( $t$ ) séparant deux contractions des muscles paravertébraux assurant la propulsion du poisson. D'où l'expression [116] en prenant pour  $A$  la valeur moyenne 0.7 :

$$V = 0.7 \frac{L}{2t}$$

Des expérimentations ont montré que le temps séparant deux contractions musculaires successives était beaucoup plus faible pour les individus de petite taille. La contraction des muscles "blancs" anaérobies est d'autre part très sensible à la température, le temps minimum séparant deux contractions musculaires décroissant avec la température [116].

*La vitesse maximale de nage dépend donc avant tout de la longueur du poisson et de la température.*

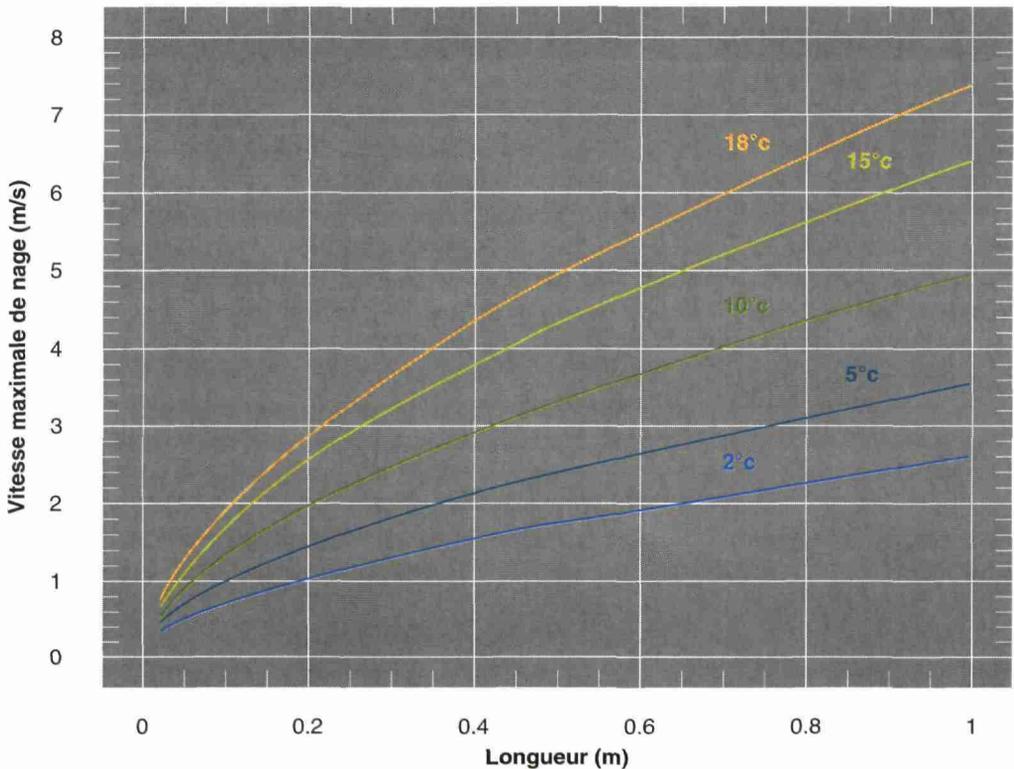


fig. 3.1

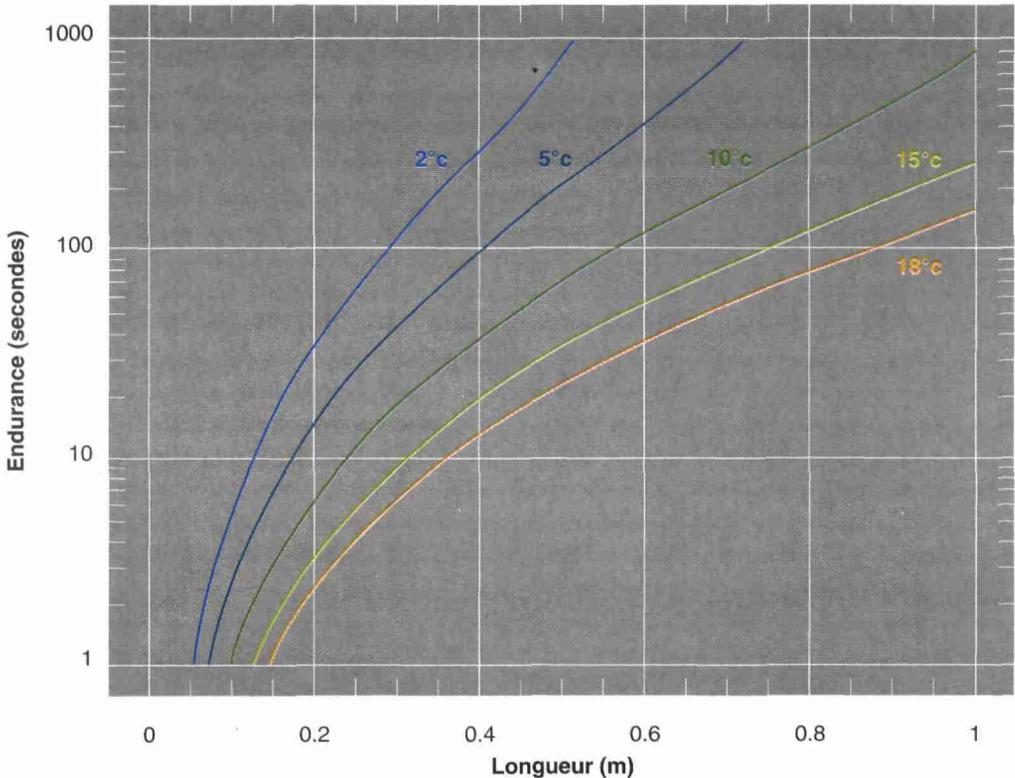
Vitesse de nage en fonction de la taille du poisson et de la température pour les salmonidés (d'après BEACH, 1984 [5])

L'endurance dépend de la réserve en glycogène stockée dans les muscles. Cette réserve est utilisée dès que le poisson dépasse sa vitesse de croisière et le rythme de déplétion est fonction de la vitesse de nage et de la température.

*L'endurance dépend, elle aussi, de la longueur du poisson, de sa morphologie (relation poids-longueur, pourcentage de masse musculaire) et de la température.*

Des études expérimentales effectuées en Grande-Bretagne [117 ; 123 ; 5] ont permis d'obtenir un certain nombre d'expressions empiriques donnant les relations existant entre vitesses de nage, endurance, température, taille et morphologie du poisson.

On a porté à partir de ces expressions empiriques sur les figures 3.1 et 3.2 les vitesses maximales de nage ainsi que l'endurance afférentes à ces vitesses de nage pour différentes températures et différentes tailles [5].



Endurance à la vitesse maximale en fonction de la taille du poisson et de la température pour les salmonidés (d'après BEACH, 1984 [5])

fig. 3.2

Endurance des salmonidés en fonction de la taille  
( $L = 0.15, 0.25, 0.35, 0.50, 0.70, 1.00$  m)

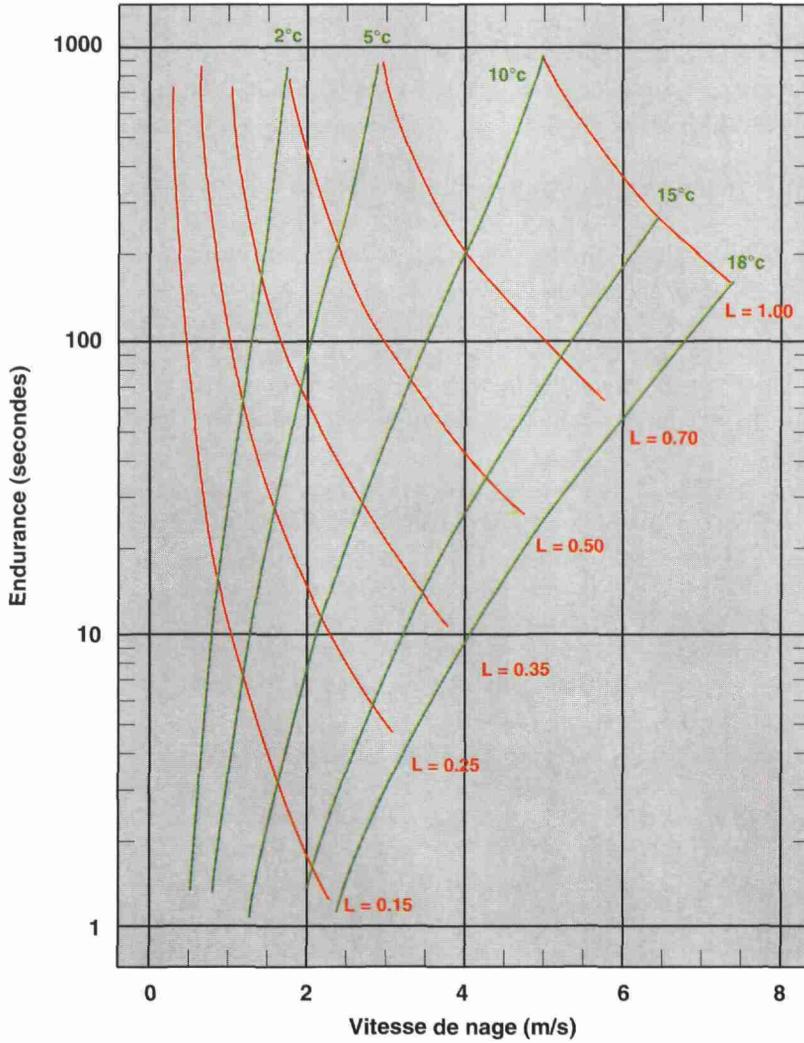


fig. 3.3

Vitesse de nage et endurance en fonction de la température et de la taille des poissons pour les salmonidés

On a porté sur la figure 3.3 la relation vitesse de nage-endurance pour différentes tailles de poissons et pour plusieurs températures.

Ces résultats semblent être en parfaite concordance avec les données sur les vitesses maximales de nage proposées par différents auteurs [7] : 6 m/s à plus de 8 m/s pour le saumon, 3 m/s à 4 m/s pour la truite, 4 m/s à plus de 5 m/s pour l'aloise dans des conditions thermiques favorables.

Ils ont l'intérêt de montrer l'importance fondamentale du facteur thermique et de la taille du poisson sur la vitesse maximale de nage et surtout, le rôle primordial de la taille du poisson sur l'endurance.

Les vitesses maximales de nage, pour un même poisson, peuvent varier dans le rapport de 1 à 2 suivant la température.

On notera que pour un poisson de taille donnée, une augmentation de la température se traduit par une diminution importante de l'endurance. Cette réduction s'explique par le fait qu'à une température plus élevée correspond une vitesse maximale plus importante et partant une déplétion plus rapide des réserves en glycogène des muscles, d'où une endurance plus faible.

Les vitesses de croisière diminuent rapidement avec la taille du poisson. D'après BLAXTER [9], la limite supérieure de la vitesse de croisière de la majorité des espèces se situerait entre 2 et 3 L/s, L étant la longueur du poisson exprimée en mètre. Pour les salmonidés, elle atteindrait de 3 à 4 L/s. On peut donc admettre, pour le saumon, des vitesses de croisière de l'ordre de 2 m/s à 3 m/s ; pour la truite fario, elles se situeraient entre 0.50 m/s et 1 m/s suivant la taille de l'individu alors qu'elles seraient de l'ordre de 0.45 m/s à 0.60 m/s pour la majorité des juvéniles de saumon en période de dévalaison. Le modèle empirique dont les résultats sont donnés sur les figures 3.1 à 3.3 a tendance à sous-estimer les valeurs des vitesses de croisière maximales des poissons de petite taille ainsi que l'influence du facteur thermique sur ces vitesses de croisière.

### 1.3 Distances maximales franchissables dans un écoulement de vitesse donnée

A partir des relations empiriques précédentes, on peut déterminer la distance maximale  $D$  pouvant être parcourue par un poisson dans un écoulement de vitesse donnée  $U$ .

Cette distance est donnée par l'expression :

$$D = (V - U) T$$

où  $T$  est l'endurance (exprimée en secondes) de l'individu nageant à la vitesse  $V$ .

On a porté à titre d'exemple, sur la figure 3.4, les distances maximales pouvant être parcourues par des salmonidés de longueurs 0.35 m et 0.25 m.

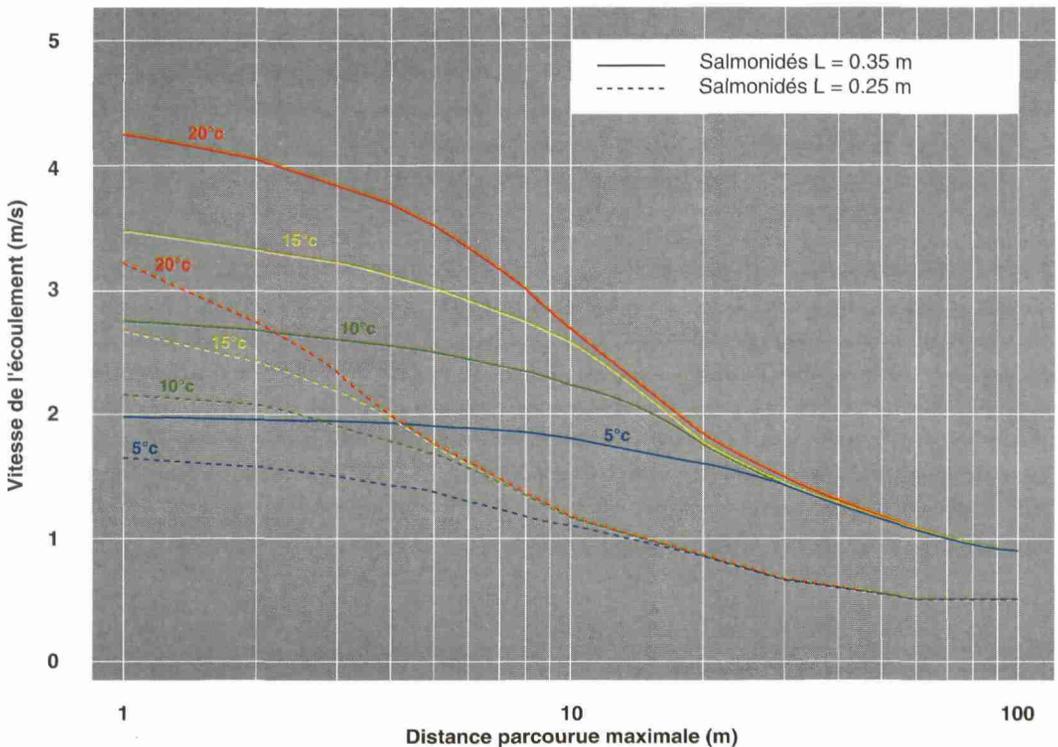
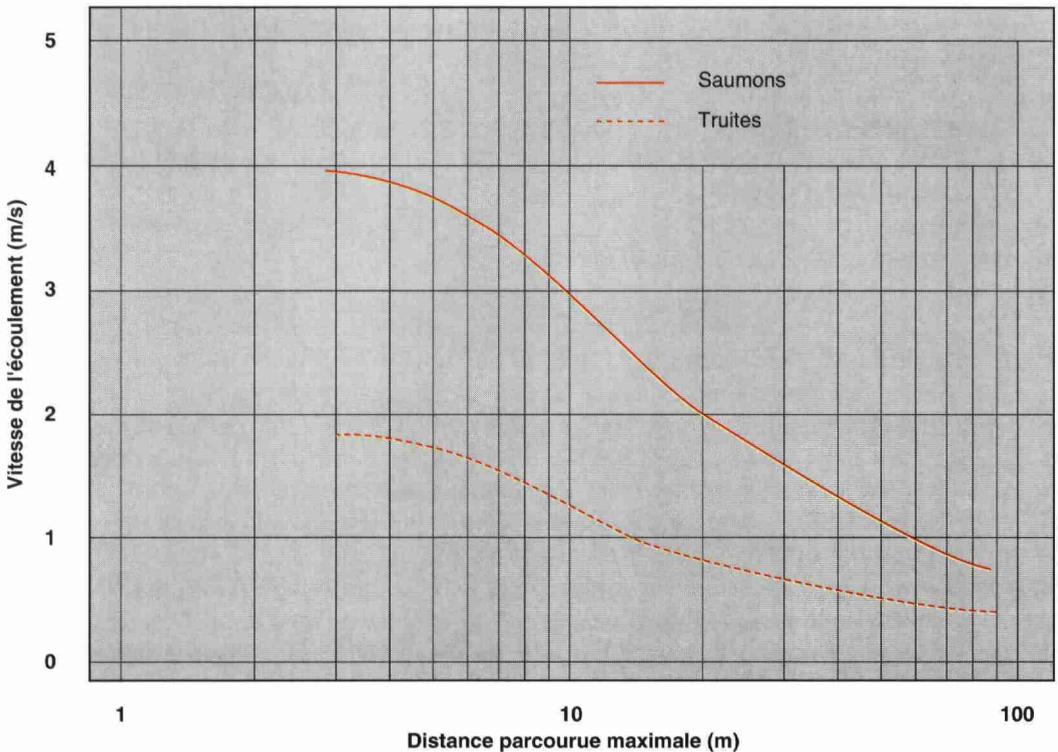


fig. 3.4

Distance maximale parcourue en fonction de la vitesse de l'écoulement et de la température pour deux tailles de salmonidés

Ces courbes sont relativement proches des courbes semi-empiriques portées à la figure 3.5 proposées par ZIEMER [124] et EVANS et JOHNSTON [35], sauf que ces dernières ne prennent pas en compte le facteur thermique.



Capacité de nage du saumon et de la truite  
(d'après ZIEMER, 1961 [124] et EVANS et JOHNSTON, 1980 [35])

## 1.4 Capacités de saut

Certaines espèces, en particulier les salmonidés, sont capables de franchir un obstacle en sautant, à condition que le poisson trouve au pied de l'obstacle des conditions lui permettant de prendre son appel.

Le mouvement du poisson effectuant un saut peut être assimilé à la trajectoire d'un projectile. L'équation de la trajectoire peut s'exprimer sous la forme :

$$X = (V_0 \cos \alpha)t$$

$$Y = (V_0 \sin \alpha)t - 0.5gt^2$$

où X et Y sont les distances horizontales et verticales parcourues par le projectile - en l'occurrence le poisson -,  $V_0$  la vitesse initiale,  $\alpha$  l'angle d'incidence avec le plan horizontal et g l'accélération de la pesanteur.

La trajectoire du poisson est parabolique, la hauteur maximale atteinte par le poisson dépend de sa vitesse initiale et de l'incidence du saut au départ :

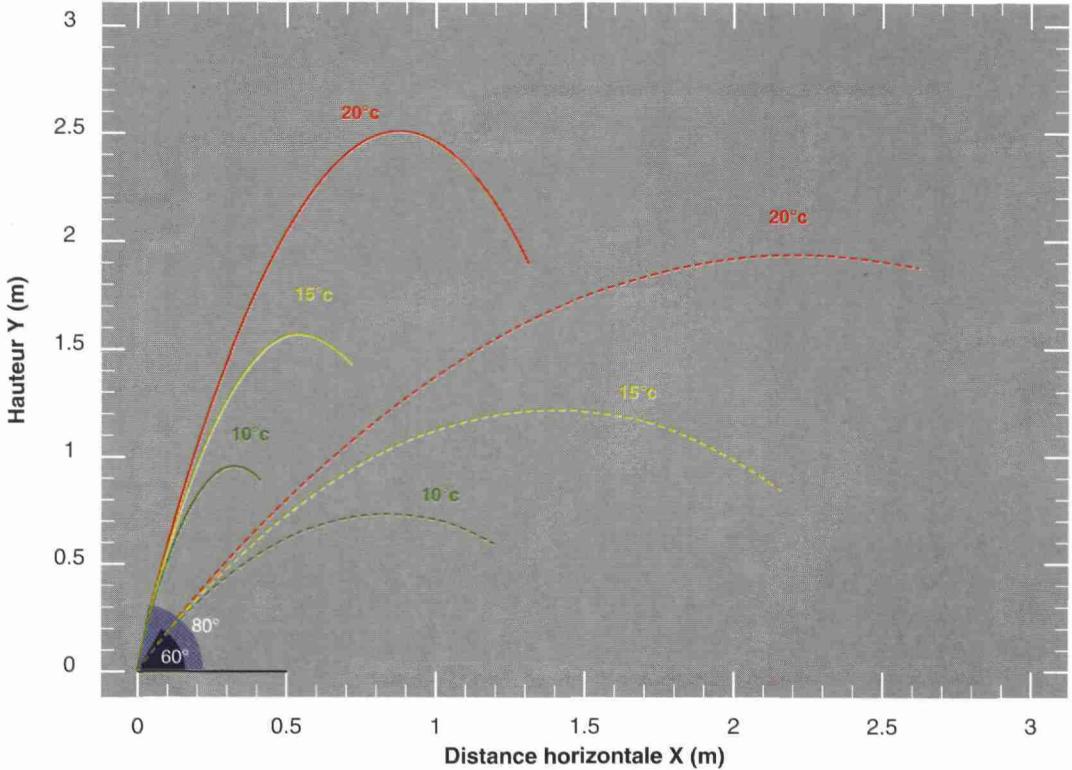
$$Y_{max} = \frac{(V_0 \sin \alpha)^2}{2g}$$

La distance horizontale correspondant à cette hauteur maximale,  $X_{max}$ , est donnée par l'expression :

$$X_{max} = \frac{V_0^2 \cos \alpha \sin \alpha}{g}$$

On a porté sur un même graphique (Fig. 3.6) les trajectoires de saut théoriques d'un saumon en fonction de l'angle d'incidence à sa sortie de l'eau et de la température. Ce graphique met en évidence le rôle prépondérant de la température sur la hauteur franchissable par le saut.

On peut cependant noter [85] qu'en toute rigueur il conviendrait d'ajouter à cette hauteur  $Y_{max}$  une hauteur correspondant à une forte fraction de la longueur du poisson dans la mesure où celui-ci utilise sa force propulsive jusqu'au moment où sa nageoire caudale quitte la surface de l'eau. D'autre part, l'équation précédente ne tient pas compte de la composante ascendante de la vitesse existant au pied d'une chute, dont le poisson peut profiter. Les valeurs de saut obtenues par la formule ci-dessus sont donc des valeurs conservatoires.



Trajectoires de saut théoriques pour un saumon de 0.80 m de longueur en fonction de la température et de l'angle d'incidence du saut

fig. 3.6

## 1.5 Capacités de nage et dispositifs de franchissement

Les vitesses maximales proposées plus haut sont relatives à des poissons en excellente condition physique (pas de blessures, temps de séjour en eau douce réduit pour les grands migrateurs...). Par ailleurs, l'endurance doit être prise comme une durée d'effort maximale provoquant l'épuisement total du poisson. En pratique, il convient de se situer bien en deçà de ces limites pour ce qui est de l'effort à demander aux migrateurs dans un dispositif de franchissement.

L'utilisation de la vitesse moyenne d'un écoulement (vitesse moyenne débitante par exemple, qui est le rapport du débit à la section de l'écoulement), comme seul critère de "franchissabilité" pour un obstacle ou de dimensionnement pour un dispositif de franchissement est cependant délicate :

- d'une part, les poissons sont capables de percevoir de très faibles variations des vitesses de l'écoulement et cherchent généralement les zones les plus favorables à leur progression (voisinage des parois, zones de décollement...),
- d'autre part, lorsque dans un écoulement les fluctuations spatio-temporelles de vitesses deviennent importantes (écoulements tourbillonnaires par exemple), l'énergie nécessaire au poisson pour franchir une certaine distance peut devenir beaucoup plus importante que celle requise pour parcourir la même distance dans un écoulement plus régulier à filets parallèles ayant même vitesse moyenne, et cela d'autant plus que les vitesses maximales de l'écoulement se rapprochent des vitesses de pointe du poisson.

C'est le cas en particulier de l'écoulement dans les passes à ralentisseurs caractérisé par des champs de vitesses fortement tourbillonnaires et tridimensionnels et dans lequel le poisson est susceptible d'emprunter certaines zones particulières à plus faible vitesse lors de sa progression.

Les abaques donnés plus haut mettent en évidence que les espèces de petite taille ont des vitesses de pointe limitées et qu'elles ne peuvent soutenir ces vitesses ou des vitesses légèrement inférieures qu'un très bref instant (quelques secondes).

Seules les passes à bassins successifs pourront convenir à ces espèces : dans ce type de passe, le poisson n'a à fournir d'effort qu'au passage de l'échancrure, de la fente ou de l'orifice sur une distance n'excédant pas quelques décimètres. Le poisson peut d'autre part éviter les zones à vitesses maximales en profitant au maximum du décollement des lames d'eau.

Les passes à ralentisseurs de fond, dans lesquelles les vitesses ponctuelles descendent dans le meilleur des cas (passe faiblement alimentée, ralentisseurs hydrauliquement "efficaces") à des valeurs voisines de 1 m/s et qui sont très sensibles aux variations du niveau d'eau amont, ne doivent être utilisées que pour les migrateurs de grande taille.

Les passes à ralentisseurs plans ou de type FATOU, dans lesquelles les vitesses peuvent descendre à des valeurs voisines de 0.7 m/s -0.8 m/s, sont susceptibles d'assurer le passage d'espèces ou d'individus de plus petite taille à condition que la longueur des volées reste inférieure à 6-8 mètres et que la dimension des ralentisseurs soit réduite et ramenée à l'échelle du poisson. ■



Saut de saumon

# 2

## ECLAIRAGE DES DISPOSITIFS DE FRANCHISSEMENT

Lorsqu'on est confronté au problème de la couverture d'une passe - ou à celui du franchissement d'une buse par les migrateurs - se pose la question de savoir si un éclairage, qu'il soit naturel ou artificiel, est nécessaire.

Un certain nombre d'observations effectuées sur les salmonidés [1 ; 100] indiquent que le poisson peut franchir une passe ou un canal en tunnel d'une très grande longueur sans qu'il soit nécessaire de l'éclairer. D'après BELL [7], la progression des migrateurs n'est pas ralentie par l'obscurité. Des expérimentations effectuées sur la côte Ouest des USA [68] ont montré que si le migrateur (truite steelhead) hésitait plus longtemps à s'engager dans une passe obscure, il remontait celle-ci plus rapidement que dans la même passe éclairée (deux minutes par bassin contre plus de huit).

Des expérimentations ont été effectuées en vue d'inciter les migrateurs à emprunter des passes à poissons la nuit en éclairant celles-ci. Tous les essais se sont montrés peu concluants : au barrage de The Dalles (côte Ouest des USA), moins de 10% des migrateurs empruntent la passe entre 20 h et 4 h, que la passe soit éclairée ou non. Au barrage de McNary, les essais ont montré que le poisson n'entraît pas dans la passe de nuit, quelles que soient les conditions d'éclairage ; par contre, cet éclairage permettait aux poissons ayant pénétré dans la passe avant la tombée du jour de franchir la passe dans son intégralité [36].

Sur certains aménagements (Grand Sault, rivière Madeleine, Québec), l'observation a montré que le saumon atlantique éprouvait de la répulsion à pénétrer dans la partie souterraine d'une passe à bassins successifs, la transition lumière-obscurité étant brutale : la passe ne fonctionne correctement que lorsqu'elle est éclairée.

Sur l'aménagement de Tuilières sur la Dordogne, la section de sortie de l'ascenseur à poissons est constituée de neuf bassins souterrains : les poissons piégés dans la cuve de l'ascenseur sont déversés dans le bassin aval d'une passe couverte. L'éclairage artificiel de cette passe

s'est révélé indispensable pour permettre son franchissement par les aloses qui avaient tendance à rester bloquées dans les bassins aval de l'ouvrage, les mieux éclairés naturellement [21].

A l'inverse, l'éclairage d'un dispositif de franchissement peut inhiber la migration nocturne de certaines espèces lucifuges qui peuvent se trouver partiellement voire totalement bloquées.

Des expérimentations ont été effectuées pour tenter de mettre en évidence l'influence de l'éclairage sur le passage de diverses espèces de saumons et truites du Pacifique dans des conduites de diamètres 0.60 m et 0.90 m [107]. Les résultats ont montré que toutes les espèces pouvaient franchir ces conduites sans éclairage. Sur les quatre espèces testées (chinook, coho, sockeye et truite steelhead), seule la truite steelhead semblait bénéficier de façon significative (en terme de % de passage) de l'éclairage des conduites. La vitesse de passage semblait cependant plus importante lorsque le tuyau était éclairé pour la truite steelhead, les saumons sockeye et coho, alors que c'était l'inverse pour le saumon chinook.

En conclusion, il paraît donc préférable, lorsqu'on est obligé d'enterrer ou de couvrir une passe, d'éviter une brusque transition entre l'intensité lumineuse du milieu extérieur et celle de la passe ou de la buse en éclairant d'une façon ou d'une autre (éclairage artificiel, fenêtres, évasement de l'entrée) le premier tronçon de l'ouvrage. Certains auteurs [76] recommandent de végétaliser l'entrée et la sortie de l'ouvrage (dans le cas de buses) pour réduire les gradients d'éclairement à l'entrée et à la sortie.

Si l'éclairage d'un dispositif dans sa totalité n'apparaît pas, à l'expérience, comme un facteur prépondérant conditionnant son franchissement par la majorité des espèces (sauf peut-être pour certaines espèces comme l'aloise), il peut cependant être retenu dans tous les cas comme un facteur de sécurité lors de la conception d'un ouvrage. ■

## 3

## NOTION D'OBSTACLE A LA MIGRATION

On a souvent tendance à associer la notion d'obstacle à la migration à la hauteur de la chute. La réalité est beaucoup plus complexe : le fait qu'un obstacle soit franchissable ou non dépend des conditions hydrodynamiques sur et au pied de l'obstacle (vitesses, tirants d'eau, configuration des jets, aération, turbulence...) en relation avec les capacités de nage et de saut des espèces considérées.

Les conditions hydrodynamiques dépendent à la fois de la géométrie de l'ouvrage (hauteur et profil du barrage, pentes, longueurs) et des débits qui y transitent, c'est-à-dire des conditions hydrologiques en période de migration ainsi qu'éventuellement de la gestion de l'ouvrage.

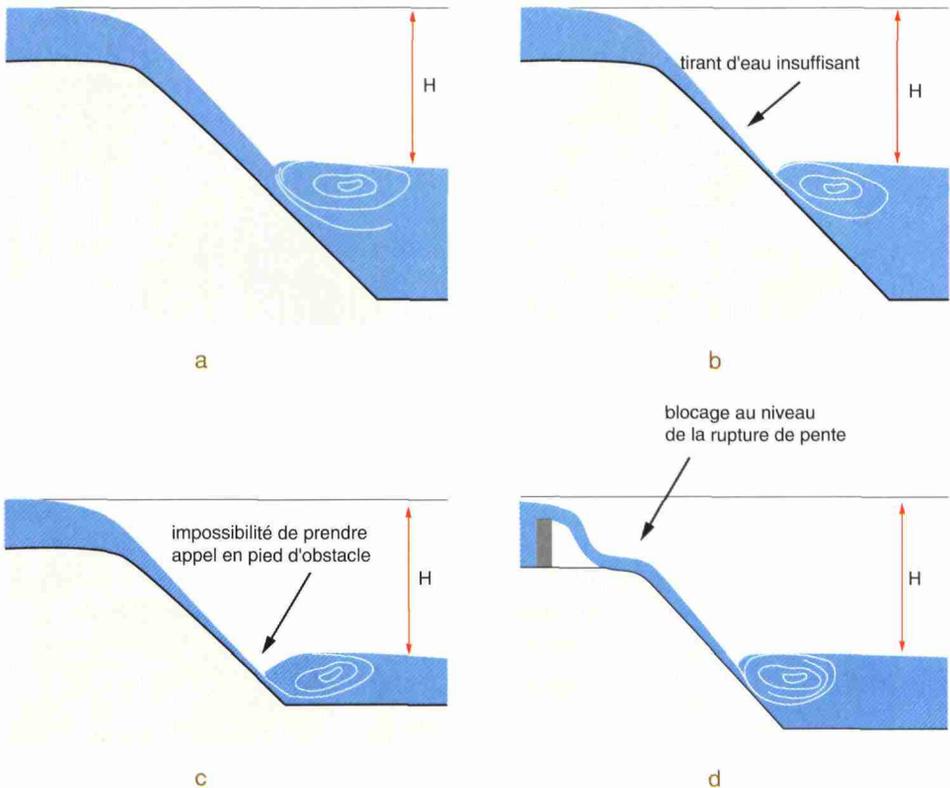


fig. 3.7

Schéma illustrant l'influence de la configuration d'un obstacle sur sa franchissabilité

On a porté sur la figure 3.7 plusieurs configurations d'obstacles ayant même hauteur de chute. Si les capacités de nage du poisson le permettent, l'obstacle (a) est franchissable. En (b), la lame d'eau insuffisante sur le parement aval ne permet pas la nage du poisson. En (c), la présence d'un radier en pied de barrage et l'absence de fosse d'appel rendent l'obstacle infranchissable quelles que soient les capacités de nage du poisson. En (d), la présence d'une rehausse bloque le poisson au niveau de la rupture de pente.

On a vu que les capacités de nage et de saut dépendaient de l'espèce, de la taille des individus, de leur état physiologique, ainsi que des conditions thermiques ambiantes. La franchissabilité d'un ouvrage est donc liée à sa géométrie, aux espèces considérées et aux conditions hydrologiques et thermiques en période de migration. Pour ces diverses raisons, la plupart des auteurs considèrent que des blocages peuvent intervenir pour des chutes ne dépassant pas 0.50 m à 0.60 m pour les grands salmonidés migrateurs, voire moins pour d'autres espèces à capacité de nage plus réduites comme l'anguille.

*La franchissabilité d'un obstacle doit être considérée pour chaque espèce migratrice présente dans le cours d'eau.*

Pour une espèce donnée, un obstacle sur un cours d'eau peut être total, c'est-à-dire infranchissable en permanence pour tous les individus. Il peut être partiel, c'est-à-dire infranchissable pour certains individus. Il peut être temporaire, c'est-à-dire totalement infranchissable à certaines périodes de l'année (sous certaines conditions hydrologiques ou thermiques). Les cas très fréquents sont ceux d'obstacles de faible hauteur infranchissables en étiage à cause des trop faibles tirants d'eau sur le parement aval ne permettant pas la nage des poissons. Certains ouvrages peuvent être infranchissables par faible température, le poisson n'ayant pas alors les capacités de nage suffisantes pour le franchir.

Il ne faut pas sous-estimer l'impact négatif des obstacles temporaires qui retardent les poissons dans leur migration et peuvent l'obliger à stagner dans des zones peu propices dans la partie basse des cours d'eau, ou provoquer des blessures à la suite de tentatives de franchissement répétées et infructueuses. ■

# IMPLANTATION DES PASSES A POISSONS

## 1 ATTRACTIVITE DES DISPOSITIFS DE FRANCHISSEMENT

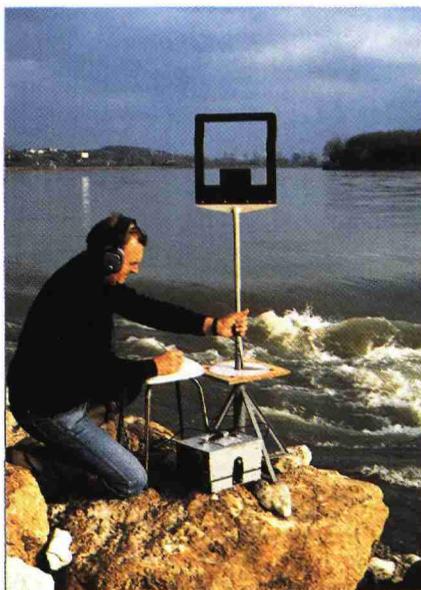
Pour qu'une passe à poissons puisse être efficace, il est nécessaire que le migrateur en trouve l'entrée (entrée pour le poisson, donc partie aval de l'ouvrage). Cette entrée ne représente qu'une largeur réduite comparée à celle de l'obstacle et est alimentée par un débit ne constituant qu'une fraction limitée du débit total du cours d'eau ; le seul stimulus actif utilisé pour guider le poisson vers cette entrée est le champ de vitesse au pied de l'obstacle.

L'attractivité d'un dispositif de franchissement est liée à son implantation dans l'obstacle, en particulier à la situation de son ou ses entrées, ainsi qu'aux conditions hydrodynamiques (débits, vitesses, lignes de courant) au voisinage de ces entrées, qui ne doivent être masquées ni par des écoulements provenant des turbines ou des ouvrages évacuateurs, ni par des zones de recirculation ou d'eaux mortes.

Le problème de l'attractivité des dispositifs de franchissement se pose cependant en termes différents suivant les espèces concernées. Pour les espèces amphibiotiques, on cherchera à attirer tous les poissons - ou tout au moins le plus grand nombre possible - parvenant au pied de l'ouvrage, tout en minimisant les retards dans la migration. Pour certaines espèces holobiotiques, en particulier les cyprinidés, il suffira le plus souvent de rétablir une communication entre les biefs amont et aval : on s'attachera plus au "confort" du poisson dans la passe qu'à l'attractivité de celle-ci. ■

## 2 FACTEURS INTERVENANT DANS LE CHOIX DE L'IMPLANTATION D'UNE PASSE

La configuration d'un obstacle à la migration (disposition des ouvrages évacuateurs, de la centrale hydroélectrique, des prises d'eau, gestion des ouvrages...) peut varier à l'infini ; on illustrera dans la suite, à l'aide de quelques situations-types, les principes devant guider le concepteur dans le choix de l'implantation d'un dispositif de franchissement.



Radiopistage au pied d'une usine

Pour un barrage existant - ou un obstacle naturel comme un rapide ou une chute - situé sur un cours d'eau où existe encore une population de migrateurs, il est possible d'observer et de noter le comportement des poissons au pied de l'obstacle, c'est-à-dire leur route de migration, leurs zones de stabulation et les points du barrage où s'effectuent les tentatives de franchissement. Ces indications permettront de choisir la situation de l'entrée de la passe.



Passé à ralentisseurs de Kapekern sur le Léguer (Côtes d'Armor).  
La passe est installée à l'angle amont du barrage



Passé d'Uxundoa sur la Nivelle (Pyrénées-Atlantiques).  
La passe débouche au pied du seuil en retrait des turbulences  
créées par la chute

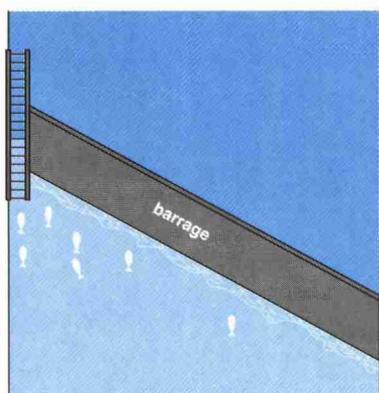
Dans le cas d'un ouvrage en projet ou sur un cours d'eau où les espèces migratrices ont disparu et font l'objet d'un plan de restauration, on ne peut faire que des hypothèses sur le comportement du poisson et seule l'expérience du projecteur entre en ligne de compte.

L'implantation des dispositifs de franchissement en rive ou à proximité des rives est la plupart du temps préférable à une implantation au milieu du barrage dans la mesure où les migrateurs (en particulier les salmonidés et l'aloise) ont généralement tendance à se déplacer le long des rives plutôt que dans la partie centrale du chenal.

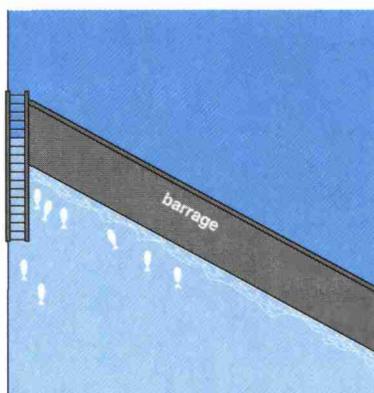
De façon générale, le poisson a tendance à remonter dans le courant le plus à l'amont possible, jusqu'à ce qu'il soit arrêté par une chute d'une hauteur infranchissable ou par des courants ou des turbulences trop violents.

Il convient donc d'installer l'entrée de la passe le plus près possible du point ou de la ligne de plus haute remontée du migrateur.

L'implantation d'une passe sur un obstacle incliné par rapport à l'axe du cours d'eau se fait dans la mesure du possible dans la partie amont de l'ouvrage (Fig. 4.1a).



a - correct



b - incorrect - entrée trop à l'aval

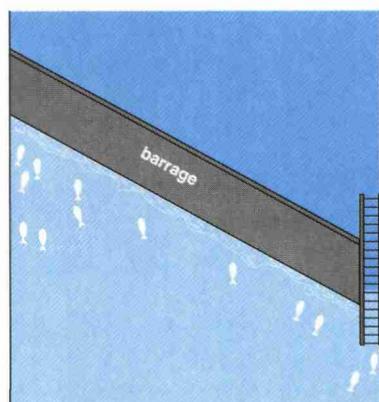
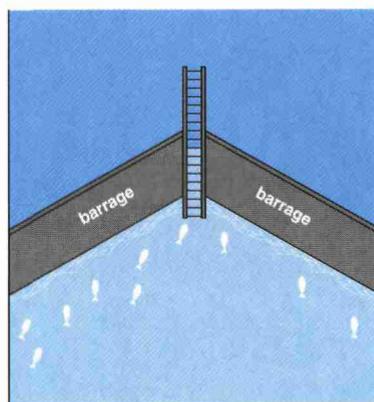
c - incorrect - entrée  
du mauvais côtéd - correct, mais problèmes d'accès  
et d'entretienSchémas illustrant l'implantation d'une passe  
dans le cas d'un obstacle oblique

fig. 4.1

Les implantations des figures 4.1b et 4.1c sont incorrectes : l'une parce qu'elle est située dans l'angle aval du barrage, la seconde parce que l'entrée de la passe est située trop à l'aval du pied du barrage.

Dans le cas d'un barrage en chevron, l'installation de la passe dans la partie amont, c'est-à-dire dans la partie centrale du cours d'eau, paraît la plus favorable d'un point de vue strictement biologique. Cette implantation peut cependant poser dans certains cas des problèmes d'accessibilité et d'entretien difficilement solubles (Fig. 4.1d).

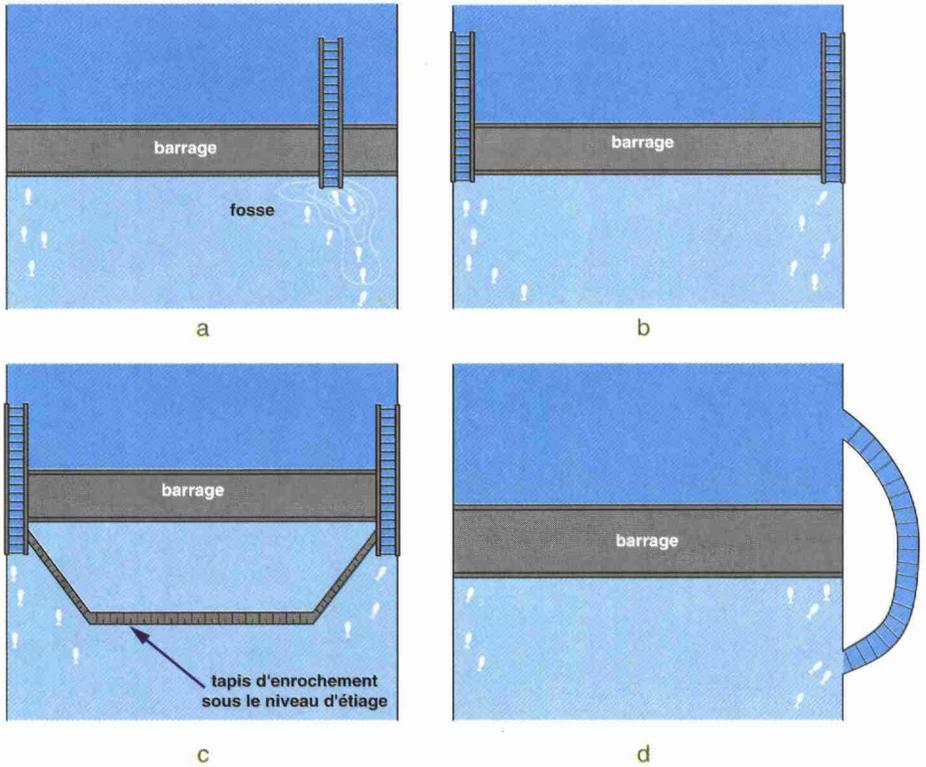


fig. 4.2

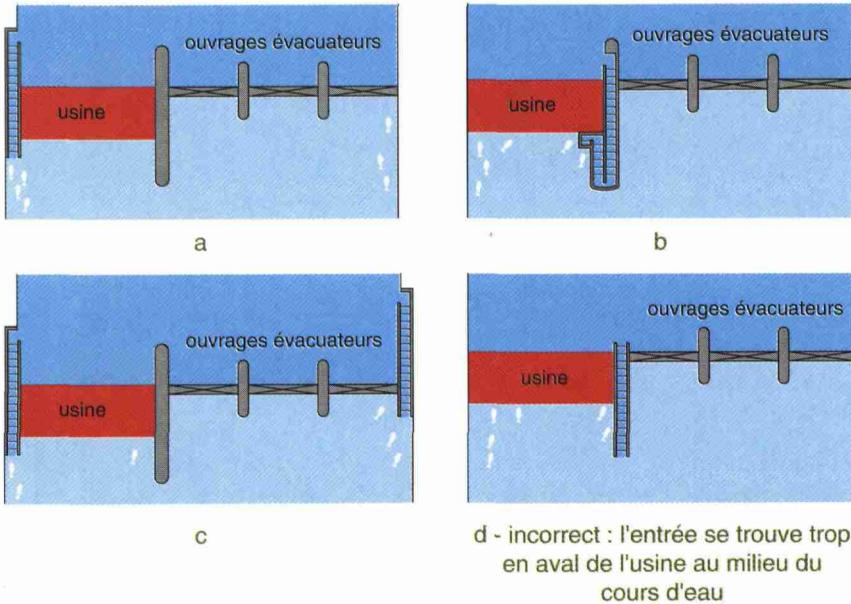
Schémas illustrant l'implantation d'une passe dans le cas d'un obstacle perpendiculaire à l'axe de l'écoulement

Dans le cas d'un obstacle perpendiculaire aux berges, le dispositif sera installé d'un côté ou de l'autre de l'ouvrage en fonction des contraintes liées au site et des écoulements d'eau préférentiels et surtout de la topographie du lit du cours d'eau à l'aval immédiat de l'ouvrage : présence de fosses de stabulation, d'un chenal d'écoulement préférentiel... (Fig. 4.2a). Cependant, dans le cas d'un obstacle d'une grande largeur, il conviendra le plus souvent d'installer un dispositif de franchissement de chaque côté de l'ouvrage (Fig. 4.2b).

Il est possible dans certains cas de modifier la morphologie du lit en aval de l'obstacle de façon à faciliter l'accès du poisson vers le ou les dispositifs de franchissement, par exemple en mettant en place un tapis d'enrochement à une cote relativement haute dans la partie centrale du cours d'eau sur une certaine longueur à l'aval immédiat de l'ouvrage et en créant deux chenaux latéraux plus profonds, les poissons étant alors canalisés vers les dispositifs de franchissement (Fig. 4.2c).

On peut être amené, suite à des contraintes inhérentes au site, à faire déboucher la passe relativement en aval de l'obstacle (cas d'une rivière artificielle par exemple, Fig. 4.2d). Il conviendra alors impérativement de compenser la situation défavorable de l'entrée en augmentant notablement le débit dans l'ouvrage qui devra représenter une fraction significative du débit du cours d'eau en période de migration.

Dans le cas d'un aménagement hydroélectrique, lorsque tout le débit est turbiné, les migrateurs seront généralement attirés vers les aspirateurs des turbines. Il faudra donc installer l'entrée de la passe du côté de l'usine (Fig.4.3a et 4.3b) et de préférence en rive.

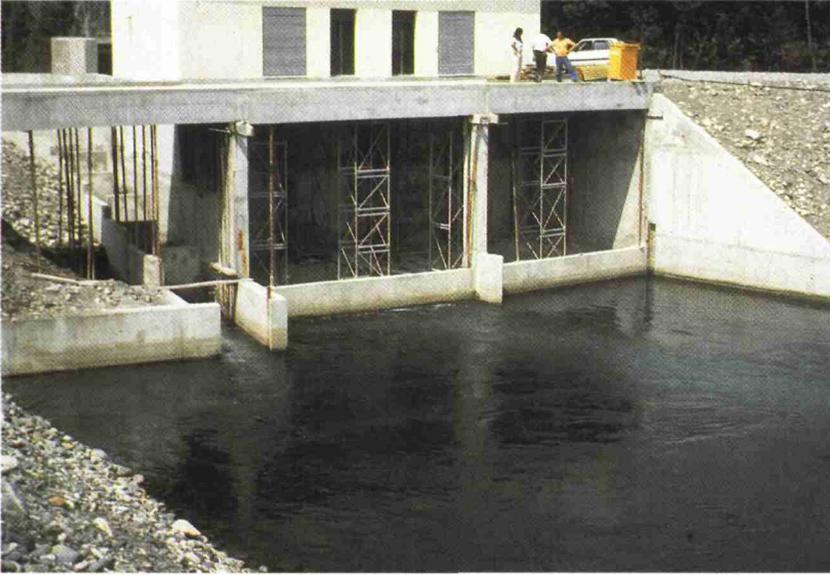


Implantation d'une passe au niveau d'un aménagement hydraulique

fig. 4.3

Il convient de veiller à ce que l'entrée de la passe soit localisée à proximité immédiate de la zone de blocage pour le poisson en évitant cependant de la situer au milieu du cours d'eau et trop à l'aval (Fig.4.3d).

Dans le cas d'une usine située sur un cours d'eau important et équipée de plusieurs turbines, il est possible de collecter les poissons sur toute la largeur de l'usine en installant une galerie collectrice comportant une série d'entrées au-dessus des aspirateurs des turbines.

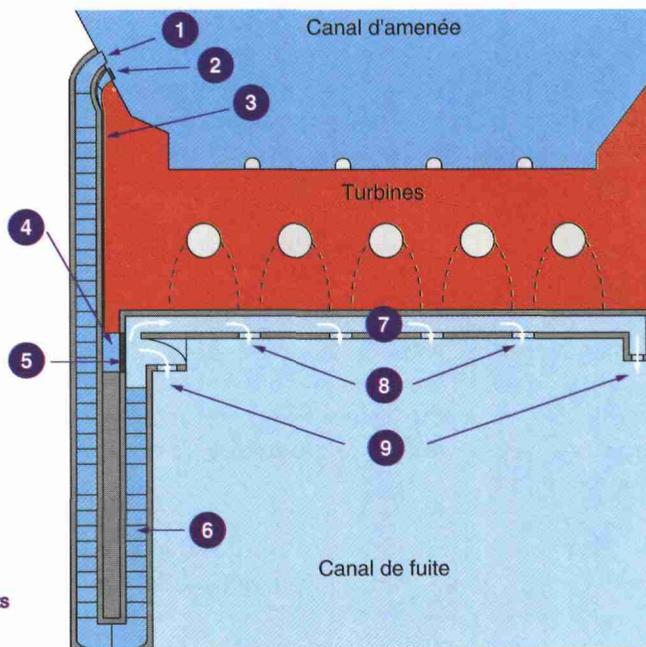


Passé installée à la micro-centrale de Pointis-Isnard sur la Garonne (Haute-Garonne). L'entrée de la passe est située à proximité de la sortie des aspirateurs des turbines



Galerie collectrice à entrées multiples de Mactaquac sur la rivière Saint-Jean (Nouveau-Brunswick)

Ces entrées sont munies de vannes plates coulissantes fonctionnant généralement par déversement ; leur cote de déversement est généralement asservie au niveau du plan d'eau aval, de telle sorte que la vitesse à l'entrée demeure à peu près constante quelle que soit le niveau d'eau aval. Les deux entrées principales seront situées à chaque extrémité de l'usine (Fig. 4.4), les entrées secondaires de préférence entre les turbines. Il est cependant préférable de ne pas multiplier exagérément le nombre des entrées, l'expérience ayant montré que dans ce cas on augmentait alors les risques de voir un poisson ayant pénétré dans la galerie par une entrée ressortir par une autre.



- 1 protection contre les corps flottants
- 2 prise pour débit d'attrait
- 3 conduite d'attrait
- 4 chambre de dissipation du débit d'attrait
- 5 grille fine pour injection du débit d'attrait
- 6 passe à bassins successifs
- 7 canal collecteur
- 8 entrées secondaires
- 9 entrées principales

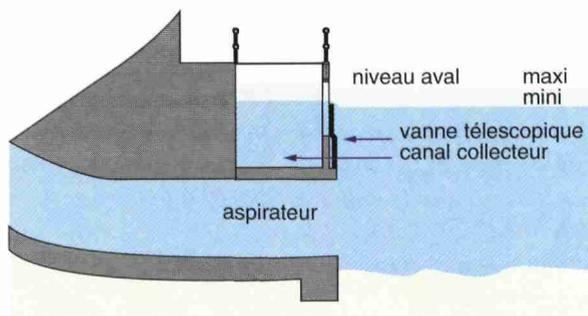


Schéma de principe d'une galerie collectrice comportant plusieurs entrées au-dessus des aspirateurs des turbines

On peut être amené à prévoir non seulement plusieurs entrées mais aussi plusieurs dispositifs de franchissement différents. Le migrateur peut se présenter soit du côté de l'usine, au pied des turbines, soit du côté du barrage lorsque celui-ci déverse : il conviendra donc d'envisager deux dispositifs de franchissement totalement indépendants, chacun comportant éventuellement plusieurs entrées (Fig. 4.3c).

C'est le cas en particulier lorsque l'usine est installée sur une dérivation : il devient souvent difficile de trancher, à savoir s'il est préférable d'installer la passe au barrage ou à l'usine. Il convient d'étudier soigneusement dans chaque cas les flux d'eau en période de migration et l'expérience montre qu'il est souvent indispensable d'envisager la construction de deux dispositifs distincts : en période de faible hydraulicité, la plupart des poissons seront attirés aux turbines alors que pendant les épisodes de forte hydraulicité, un pourcentage élevé de migrateurs pourra se présenter au barrage. Dans le cas d'une dérivation très longue, le poisson peut rester piégé dans l'un des bras (canal de fuite ou rivière) et n'a que peu de chance de trouver le dispositif de franchissement si celui-ci est mal positionné.

L'installation d'un dispositif de franchissement à l'usine n'est pas toujours possible, en particulier dans le cas d'une dérivation importante et d'ouvrages d'aménée partiellement ou totalement en charge. L'efficacité d'un ouvrage de franchissement situé au barrage est alors subordonnée au maintien d'un débit réservé important dans le bief court-circuité.

La situation de l'entrée sur l'obstacle n'est pas le seul facteur à prendre en compte dans l'implantation d'une passe sur un ouvrage : la sortie de la passe (sortie pour le poisson, donc partie amont de la passe) ne doit se trouver ni dans une zone de forte vitesse, à proximité d'un ouvrage évacuateur (vanne, déversoir), afin que le poisson ne risque pas d'être entraîné de nouveau à l'aval, ni dans une zone d'eau morte ou de recirculation dans laquelle le poisson peut se trouver piégé.

*L'implantation des dispositifs de franchissement en rive ou à proximité des rives est la plupart du temps préférable à une implantation au milieu du barrage, non seulement parce que les migrateurs ont généralement tendance à se déplacer le long des rives, mais aussi pour des questions de facilité d'accès indispensable à leur contrôle, à leur surveillance et à leur entretien.*

On évitera dans la mesure du possible l'installation d'un dispositif dans une zone naturelle d'engravement ou plus généralement d'alluvionnement, en particulier à l'intérieur d'un méandre. ■



Ascenseur à l'usine de Tuilières sur la Dordogne. L'entrée de l'ascenseur est située en rive, quelques mètres à l'aval de la sortie des aspirateurs

# 3

## CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES, VITESSES ET DEBIT A L'ENTREE DE L'OUVRAGE

### 3.1 Conditions hydrodynamiques

L'écoulement provenant de la passe doit être décelé par le poisson à la plus grande distance possible de l'entrée. L'attractivité sera liée à la situation et à l'orientation du jet issu de la passe ainsi qu'à sa quantité de mouvement, c'est-à-dire à la fois à son débit et à sa vitesse.

Il faudra éviter que le jet issu de la passe ne soit masqué par un écoulement avec lequel il ne pourra venir en compétition : il doit rester bien individualisé dans le bief aval.



Visualisation sur modèle réduit de l'écoulement à l'entrée de la passe à poissons à l'usine du Ramier sur la Garonne

Au pied des turbines ou d'un ouvrage évacuateur, il faudra éviter d'orienter le jet de la passe perpendiculairement à l'axe général de l'écoulement : ce jet serait immédiatement cisailé et ne pourrait se développer très loin vers l'aval. Au contraire, on orientera le jet parallèlement à la direction de l'écoulement. Une orientation du jet de sortie perpendiculairement à l'axe de l'écoulement ne peut s'envisager que si l'entrée de la passe est située, pour une

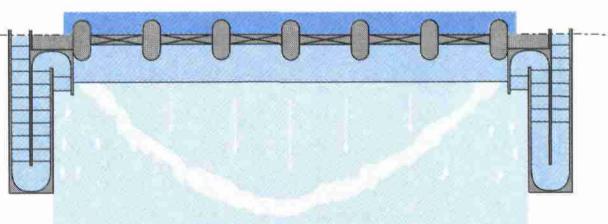
raison ou une autre, légèrement en retrait de l'écoulement principal ou dans une zone à faible vitesse.

Au pied d'un ouvrage évacuateur, il est quelquefois possible de gérer la distribution des déversements entre les différents organes de façon à améliorer l'attractivité des passes.

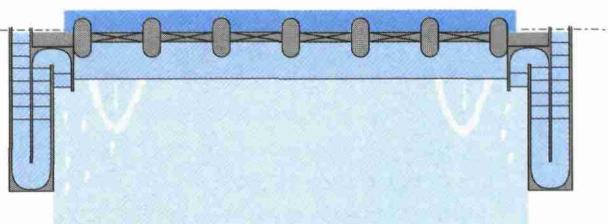
En période de fort déversement, lorsque cela reste possible, on réduira celui-ci de façon progressive du centre vers les rives ce qui aura pour effet de créer une "barrière" de turbulence et de vitesse guidant le poisson vers l'entrée des passes (Fig. 4.5a).

Lorsque le débit déversé est insuffisant pour empêcher les migrateurs de s'approcher de l'ouvrage évacuateur, on concentrera les déversements sur les rives à proximité des dispositifs de franchissement (Fig. 4.5b). On évitera alors d'utiliser les vannes centrales qui attireraient le poisson loin des passes.

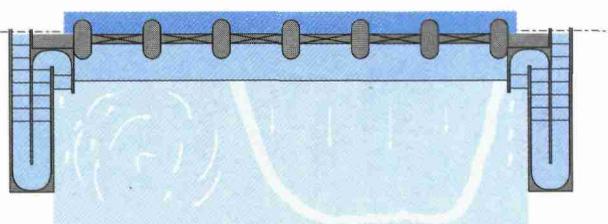
En période de fort déversement, on évitera de laisser fermée une ou deux vannes entre des vannes ouvertes : cela risquerait de créer une zone d'eau morte susceptible de piéger le poisson (Fig. 4.5d). De même, il conviendra de ne pas trop réduire les déversements en rive pour ne pas créer une zone de recirculation engendrant un courant dirigé vers l'amont à proximité de l'entrée de la passe qui serait alors complètement masquée (Fig. 4.5c).



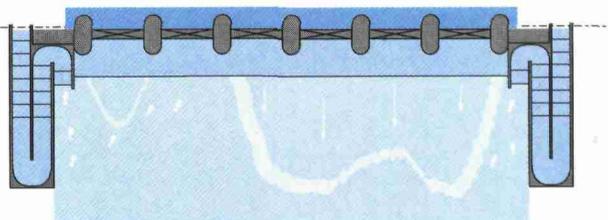
a - Déversement optimal en période de fort débit



b - Déversement optimal en période de faible débit



c - Configuration de déversement à éviter (courant de recirculation)



d - Déversement à éviter : zone d'eau morte adjacente à zone à fortes vitesses

Principes généraux d'ajustement de déversements au niveau d'un ouvrage évacuateur pour améliorer l'attractivité des passes à poissons

Le positionnement de la ou des entrées de la passe au niveau des turbines est rarement évident. Les zones de blocage du poisson peuvent se situer en sortie des aspirateurs, à l'amont du "bouillonnement" engendré par les grosses structures turbulentes issues des turbines. Lorsque l'énergie résiduelle de l'eau en sortie de turbine est importante, le blocage du poisson peut se produire plus en aval. Enfin, la zone de blocage des poissons peut varier sur un même site suivant les conditions de fonctionnement de la ou des turbines. Il convient d'éviter que le jet de la passe débouche dans les grosses structures turbulentes instables issues des turbines.

Lorsque sur un site les zones de blocage ne sont pas clairement identifiées et sont susceptibles de se déplacer suivant les conditions de fonctionnement de l'usine, l'efficacité d'un dispositif de franchissement sera considérablement accrue en installant plusieurs entrées aux points qui paraissent *a priori* les plus favorables.

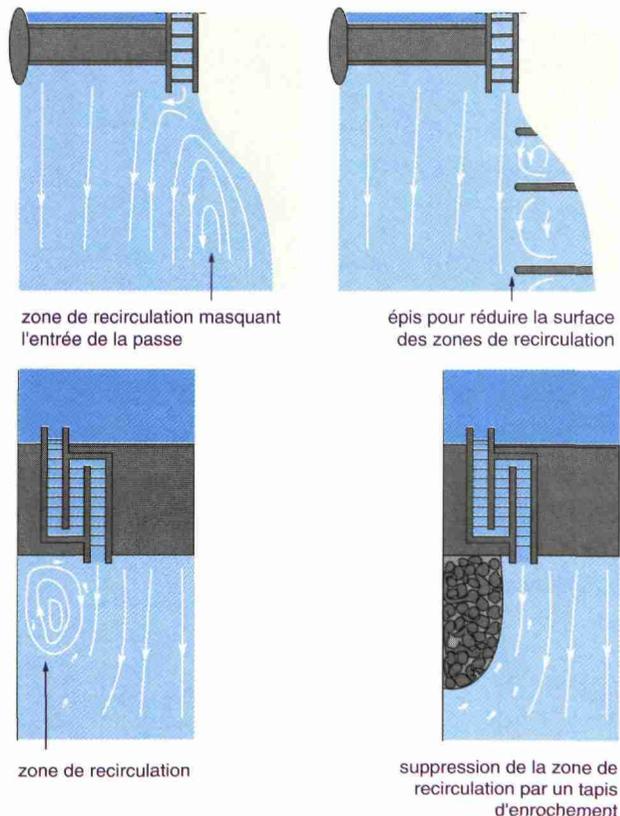


fig. 4.6

Schéma illustrant le principe de la réduction du volume des zones de recirculation à l'aide d'épis et de tapis en enrochements à l'aval d'un ouvrage

Le problème est singulièrement compliqué, voire difficilement soluble, dès que le dispositif de franchissement est destiné à plusieurs espèces dont les capacités de nage et les comportements migratoires peuvent être très différents, voire quelquefois mal connus. Si la passe est avant tout destinée aux salmonidés migrateurs, l'entrée aura tout intérêt à être située le plus en amont possible, relativement près des turbines. Par contre, cette implantation pourra ne pas être favorable aux petits cyprinidés ne possédant pas les mêmes capacités de nage : pour ces espèces, il sera préférable de situer l'entrée de la passe plus en aval, dans une zone plus calme et moins turbulente.

*D'où la nécessité de bien définir au départ du projet les espèces-cibles.*

L'entrée de la passe ne doit pas être masquée par une zone de recirculation dans laquelle les poissons seront susceptibles de rester piégés. Si tel est le cas, on supprimera cette zone grâce à un tapis en enrochements, ou l'on réduira son importance à l'aide d'épis convenablement disposés (Fig.4.6).

## 3.2 Vitesses

Il est indispensable de créer au niveau de l'entrée d'une passe des vitesses élevées, vitesses devant cependant rester compatibles avec le passage de toutes les espèces migratrices concernées. On peut adopter comme vitesse minimale à l'entrée une valeur de l'ordre du mètre/seconde, la vitesse optimale pour les salmonidés et les grands migrateurs étant de l'ordre de 2 m/s à 2.4 m/s, ce qui correspond à une chute de 0.2 m à 0.3 m à l'entrée.

Si les vitesses doivent rester élevées, il convient cependant d'éviter l'apparition d'un ressaut hydraulique. La mise en vitesse doit se faire au droit d'un étranglement de l'écoulement. A cet égard, on veillera à ce que les tirants d'eau à l'aval immédiat de l'entrée soient suffisants : quel que soit le type de passe adopté, on prévoira une fosse d'une profondeur suffisante pour que le poisson puisse stationner au pied de l'ouvrage sans difficulté.

Un soin particulier doit être apporté à la conception de l'entrée lors de l'élaboration d'un projet, en particulier sur les grands cours d'eau : on vérifiera que les vitesses à ou aux entrées restent suffisamment élevées pour les différentes conditions du niveau aval susceptibles d'être rencontrées en période de migration, en particulier en hautes eaux.

Lorsque le niveau aval s'élève suite à un accroissement du débit, la section de l'écoulement à l'entrée de la passe peut augmenter considérablement ; en conséquence, si le débit dans l'ouvrage reste inchangé ou varie peu, les vitesses à l'entrée vont décroître et l'attraction de la passe diminuera d'autant.

De façon générale, des vitesses suffisantes peuvent être maintenues en agissant sur les sections d'écoulement : on peut "pincer" plus ou moins l'écoulement au niveau de l'entrée ou moduler le débit dans l'ouvrage de franchissement suivant les conditions de niveau d'eau à l'aval de l'obstacle.

Le dispositif le plus couramment adopté pour réguler la vitesse au niveau de l'entrée consiste à installer une vanne plate effaçable dont la cote de déversement est asservie de sorte que la différence des cotes des plans d'eau de part et d'autre de cette vanne reste constante et égale à une consigne préalablement affichée (Fig. 4.7). Ce dispositif nécessite l'installation de deux sondes de niveaux, installées l'une à l'amont de la vanne dans la passe et l'autre dans le bief aval à proximité de l'entrée. Lorsque les variations de niveau deviennent importantes, on peut être amené à installer une vanne télescopique à plusieurs éléments.

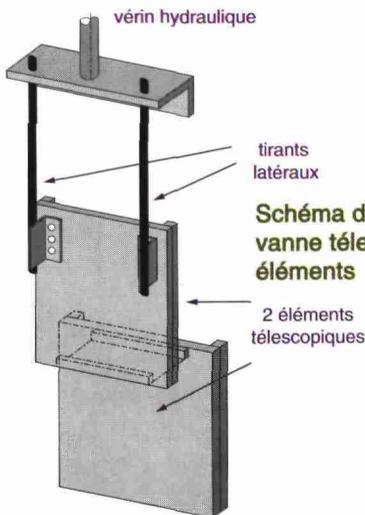
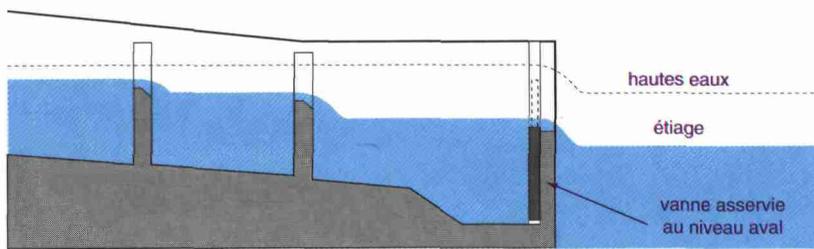


Visualisation sur modèle réduit du pincement de l'écoulement à l'entrée de la passe (vue de dessus)

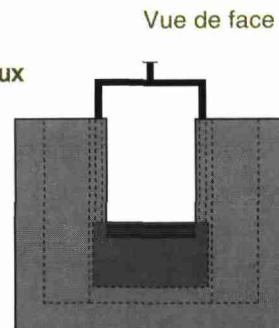
Sur les installations plus modestes ou sur lesquelles les fluctuations des niveaux amont et aval sont moins fréquentes, le réglage de la vitesse pourra s'effectuer au moyen d'une vanne manuelle à crémaillère, voire plus simplement de batardeaux disposés dans une rainure au niveau de l'entrée.

Une autre solution consiste à faire varier le débit dans l'ouvrage en fonction du niveau aval afin de garder des vitesses assez fortes, rendant ainsi l'installation d'un organe mobile en entrée inutile.

*Toutes les remarques précédentes sur l'importance des conditions hydrauliques à l'entrée de la passe montrent la nécessité absolue de bien connaître les niveaux d'eaux en période de migration, que ce soit à l'amont ou à l'aval de l'obstacle.*



Coupe transversale



Vue de face

Régulation de la chute à l'entrée d'une passe à l'aide d'une vanne asservie

### 3.3 Débit

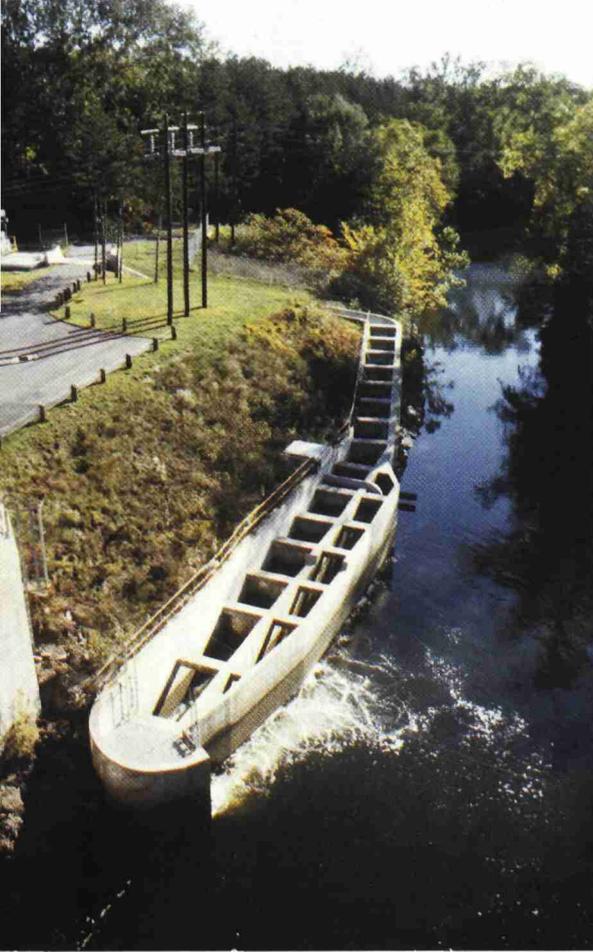
*Le débit dans le dispositif de franchissement doit être à l'échelle des débits du cours d'eau en période de migration.*

Il est difficile de donner des critères bien définis, mais de façon générale les débits transitant dans le ou les dispositifs de franchissement doivent être de l'ordre de 1% à 5% des débits rentrant en compétition. Il est évident que l'attractivité de la passe sera d'autant meilleure que le pourcentage du débit du cours d'eau transitant par le dispositif de franchissement sera important. Le débit nécessaire au bon fonctionnement du dispositif de franchissement devra être d'autant plus important que celui-ci sera moins bien placé.

S'il est raisonnablement possible de faire transiter dans la passe une fraction importante (quelquefois plus de 50%, voire l'intégralité) du débit du cours d'eau dans le cas de bassins versants de faible superficie, il n'en est pas de même sur les grands cours d'eau dès que les débits dépassent plusieurs centaines de m<sup>3</sup>/s. Il devient alors difficile, pour des questions évidentes de coût, de maintenir dans l'ouvrage une part de débit suffisante, en particulier en période de hautes eaux. Sur des cours d'eau de l'importance de la Garonne ou de la Dordogne (débits moyens annuels de l'ordre de plusieurs centaines de m<sup>3</sup>/s), des débits d'attraction d'une dizaine de pour cent du débit du cours d'eau en étiage et de 1% à 1.5% pour le débit maximum de fonctionnement de l'ouvrage de franchissement (de l'ordre de deux fois le module interannuel) semblent donner satisfaction.

En général, si l'on peut affirmer que l'augmentation du débit d'attraction se traduira par une amélioration de l'efficacité, il est par contre bien difficile de quantifier sur chaque site ce gain, exprimé en augmentation du pourcentage de migrateurs passés ou en diminution du retard dans la migration. Il est évident qu'une partie de l'amélioration de l'efficacité proviendra aussi de l'augmentation du nombre des entrées rendue possible par l'augmentation du débit disponible dans l'ouvrage de franchissement.

### 3.4 Injection du débit d'appoint dans l'ouvrage de franchissement



Entrée de la passe à poissons de Rainbow sur la rivière Farmington (USA). Le débit supplémentaire d'attrait provenant de l'amont par l'intermédiaire d'une buse est injecté dans le bassin aval de la passe après dissipation de son énergie dans un bassin latéral

Dès que le débit nécessaire à l'attractivité du dispositif devient important (plusieurs  $\text{m}^3/\text{s}$ ), on peut ne faire transiter, pour limiter l'importance et le coût des dispositifs, qu'une fraction du débit par la passe elle-même : le débit d'appoint nécessaire à l'attraction est alors injecté à basse pression à travers des grilles dans le tronçon aval de la passe ou à l'entrée même du dispositif. Ces grilles sont indispensables pour éviter que le poisson n'aille se piéger dans le bassin de dissipation au lieu d'emprunter la passe. Leur espacement est fonction de la taille des migrateurs.

Le débit d'appoint (ou débit d'attrait complémentaire) est fourni soit par gravité, après dissipation de l'énergie dans un bassin, soit sur les grosses installations par pompage à partir du bief aval ou par passage dans une ou plusieurs petites turbines spéciales afin de réduire les pertes en énergie.

Il conviendra d'installer en amont des grilles d'injection un bassin d'un volume suffisant

pour assurer une dissipation suffisante de l'énergie de l'eau et une répartition la plus homogène possible du débit d'appoint à travers les grilles. Le volume de ce bassin peut être approché en adoptant une dissipation volumique de l'ordre de  $1000$  à  $1500$   $\text{watts}/\text{m}^3$ . Ce bassin est généralement équipé de divers dispositifs (plots ou fers U disposés en quinconce...) destinés à assurer localement la dissipation de l'énergie cinétique ou potentielle de l'eau. On veillera à ce que l'écoulement soit suffisamment désaéré en arrivant aux grilles d'injection.

Cette adjonction de débit peut se faire par l'intermédiaire d'un diffuseur de fond ou d'un diffuseur latéral (Fig. 4.8). Il est généralement préférable d'injecter le débit complémentaire d'attrait latéralement, pour faciliter l'entretien des grilles : il n'est en effet pas facile de procéder au nettoyage de grilles disposées horizontalement au niveau du radier du bassin aval de la passe.

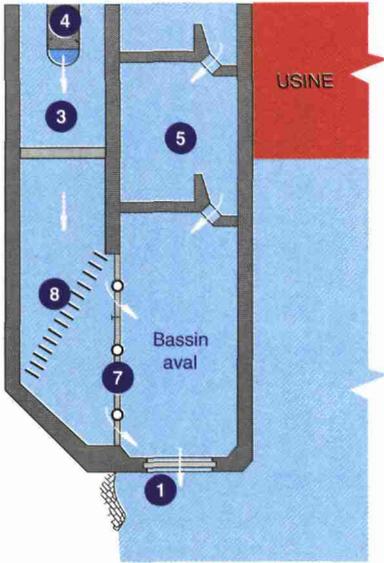
La vitesse de l'eau à travers les grilles installées en sortie de ces diffuseurs doit rester suffisamment faible ( $< 0.30$  à  $0.40$  m/s) par rapport aux vitesses dans la passe de façon à ne pas perturber le comportement du migrateur. Ces grilles doivent aussi, dans la mesure du possible, constituer un guidage vers la première échancrure ou fente de la passe elle-même. Le clair entre les barreaux est fonction de la taille des poissons susceptibles d'emprunter la passe (3 cm de clair pour saumons et aloses, moins pour les poissons de plus petite taille).

*Il faut garder à l'esprit que si ce système d'injection de débit complémentaire d'attrait réduit le génie civil de la passe, il entraîne en contrepartie des sujétions souvent lourdes d'entretien dans la mesure où il est impératif de maintenir propres les grilles installées sur ce débit d'appoint.*

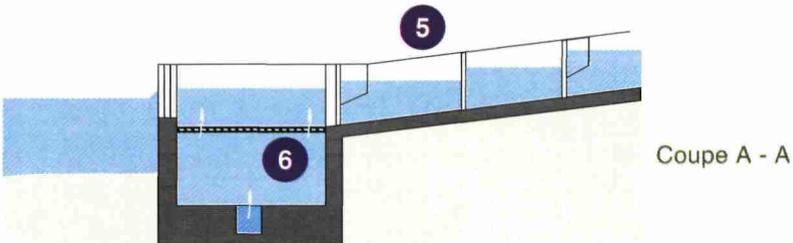
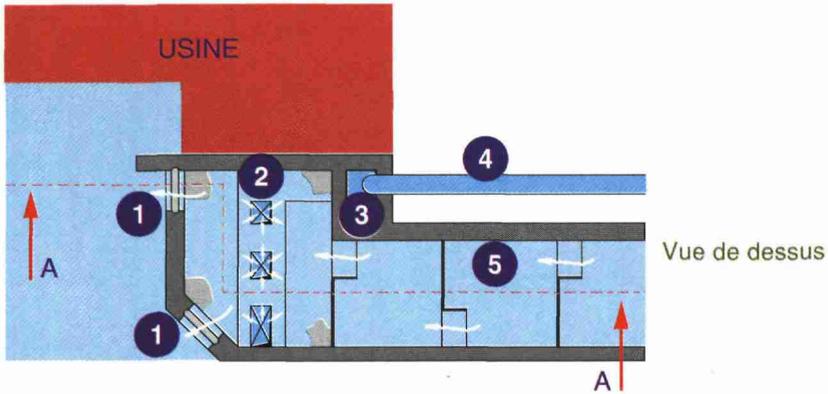
L'entretien de ces grilles peut être facilité en montant celles-ci sur des panneaux verticaux pivotants qui permettent de les nettoyer à contre-courant. Chaque fois que l'entretien des grilles risque d'être problématique (en raison de l'isolement du site par exemple ou de la difficulté d'accès), on écartera cette solution et on fera passer le maximum de débit dans la passe.

La prise de ce débit d'appoint dans le bief amont est généralement munie de grilles d'espacement égal ou inférieur à celui des grilles d'injection ; les plus grosses installations sont équipées d'un dégrilleur.

Lorsque certaines contraintes liées au site - en particulier sur des ouvrages existants - obligent à implanter l'entrée de la passe en retrait des écoulements principaux, il est possible d'utiliser une fraction du débit d'attrait sans dissipation d'énergie préalable sous forme de jets à fortes vitesses débouchant à proximité de la passe. ■



- 1 entrées de la passe
- 2 orifices de répartition du débit d'attrait
- 3 chambre de dissipation du débit d'attrait
- 4 conduite amenant le débit d'attrait
- 5 passe à bassins successifs
- 6 grilles sur attrait (vitesses <math>< 0,30 \text{ m/s}</math>)
- 7 grilles pivotantes
- 8 répartiteur



Schémas de principe de l'injection du débit d'attrait à l'entrée d'une passe

# 4

## PROTECTION DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT

La protection des passes contre les corps flottants s'effectue par les moyens classiques employés sur les ouvrages hydrauliques : drome flottante, grille à barreaux suffisamment espacés (de 25 à 30 cm pour permettre le passage des gros migrateurs) ; on peut utiliser également des écrans en maçonnerie ou en béton, des rangées de rails, voire des palplanches ou des pieux battus à l'amont de l'ouvrage.

Les grilles de protection seront installées au niveau d'une section dans laquelle la vitesse ne dépassera pas 0.30 m/s à 0.40 m/s de façon à éviter un colmatage trop rapide de l'alimentation de la passe. Cela conduit généralement à installer à l'amont de la première cloison (dans le cas d'une passe à bassins) ou du premier ralentisseur (dans le cas d'une passe à ralentisseurs) un bassin tampon qui pourra éventuellement être utilisé pour le contrôle par piégeage de la passe.

Lors de la conception d'un ouvrage de franchissement, il est important de prendre en considération les conditions hydrodynamiques au voisinage de la sortie qui sont susceptibles de jouer un rôle prépondérant sur l'entretien futur du dispositif. On évitera absolument la présence d'une zone de recirculation au voisinage de la sortie : lors du nettoyage des grilles protégeant la passe, il est fondamental que les matériaux (feuilles, branches) puissent être facilement entraînés à l'aval et ne reviennent pas colmater immédiatement les grilles de la passe, ce qui se produira s'ils sont piégés dans une zone de recirculation (Fig. 4.9e).

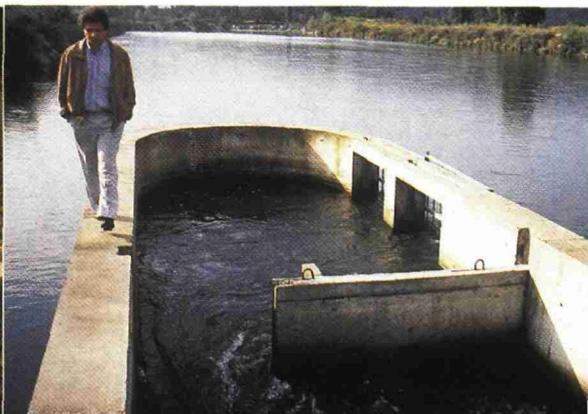
Il faudra éviter d'un autre côté d'installer la sortie dans une zone à forte vitesse : si la situation est favorable pour une évacuation aisée des corps dérivants, le poisson sortant de la passe risque d'être à nouveau entraîné à l'aval.

Il sera généralement préférable de disposer la sortie de la passe latéralement dans le bief amont. Quelques schémas types de protection de passes sont donnés à titre indicatif sur la figure 4.9.

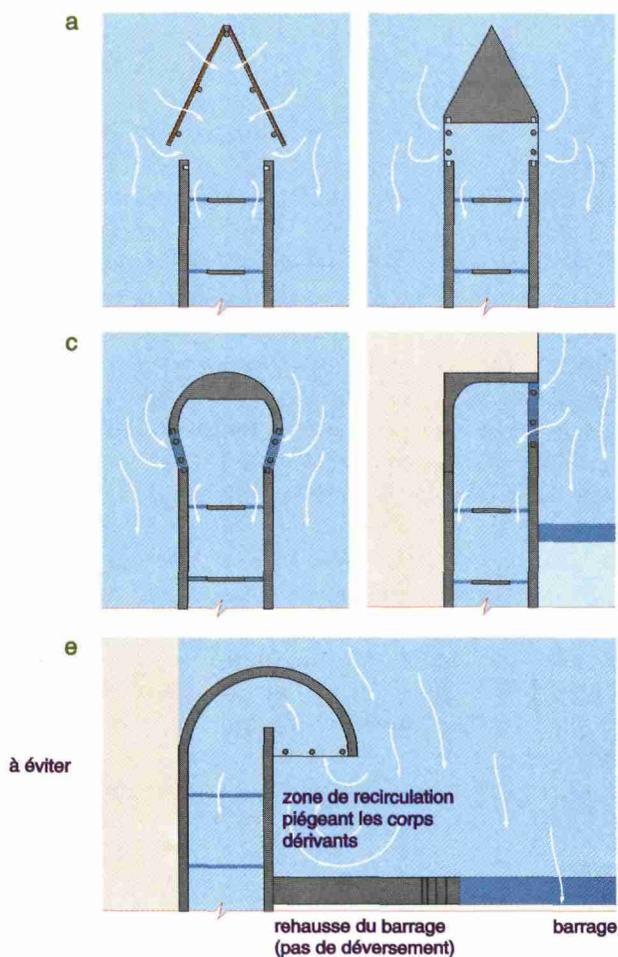
Quel que soit le système de protection prévu, on veillera à rendre la passe aisément accessible pour faciliter les opérations d'entretien et de réparation. A cet égard, comme on l'a signalé plus haut, les passes situées en rive sont préférables à celles implantées dans le corps même des ouvrages. ■



Grille de protection demi-circulaire à la sortie d'une passe à ralentisseurs sur l'Orne



Protection de la sortie - située latéralement - d'une passe à bassins successifs (seuil de Meillon sur le Gave de Pau)



Schémas de principe illustrant la protection des passes contre les corps dérivants fig. 4.9

---

# PASSES A BASSINS SUCCESSIFS, PREBARRAGES ET RIVIERES ARTIFICIELLES

## 1 PRINCIPE DES PASSES A BASSINS SUCCESSIFS

Très largement utilisées, les passes à bassins successifs sont de conception déjà ancienne : une enquête effectuée en France à la fin du siècle dernier, PHILIPPE [84] en dénombrait déjà plus d'une centaine.

Le principe de la passe à bassins successifs consiste à diviser la hauteur à franchir en plusieurs petites chutes formant une série de bassins. Le passage de l'eau d'un bassin à l'autre peut s'effectuer soit par déversement de surface, soit par écoulement à travers un ou plusieurs orifices ménagés dans la cloison séparant deux bassins, soit encore par écoulement par une ou plusieurs fentes ou échancrures. On rencontre également des passes de type mixte, l'écoulement se faisant, par exemple, à la fois par déversement au-dessus de la cloison et à travers un orifice noyé.

Les principaux paramètres d'une passe à bassins sont les dimensions des bassins et les caractéristiques géométriques des cloisons (dimensions et altitudes des déversoirs, fentes et orifices) qui les séparent ; ce sont ces caractéristiques géométriques qui, en fonction des cotes des niveaux d'eau à l'amont et à l'aval de l'ouvrage, déterminent le comportement hydraulique de la passe, c'est-à-dire son débit, la différence de niveau d'un bassin à l'autre ainsi que la configuration de l'écoulement dans les bassins. ■

## 2 DENIVELLATION ENTRE BASSINS ET NATURE DES ECOULEMENTS

Le passage des migrateurs sera d'autant plus aisé que la différence de niveau entre deux bassins  $DH$  sera plus faible. Toutefois celle-ci ne peut-être réduite de façon trop importante car cela se traduirait par un nombre de bassins prohibitif. De façon grossière, la vitesse maximale dans le jet créé par la chute  $DH$  est voisine de :

$$V = \sqrt{2gDH}$$

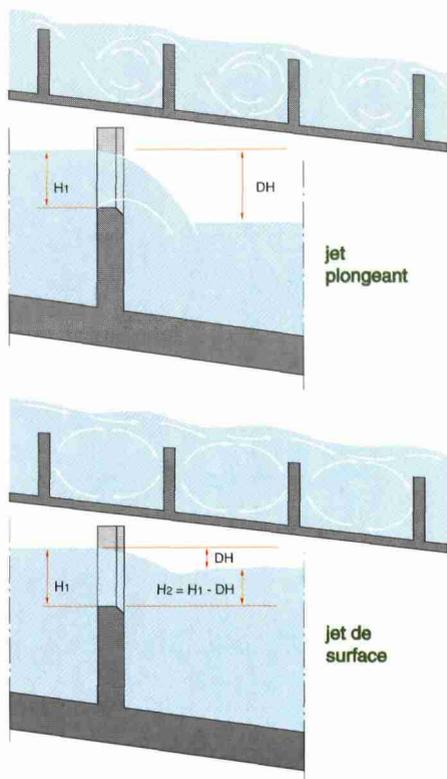
où  $g$  est l'accélération de la pesanteur ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

Cette vitesse correspond, pour des différences de niveaux entre bassins de 15 cm, 30 cm, 45 cm à des vitesses maximales respectivement voisines de 1.7 m/s, 2.4 m/s et 3.0 m/s.

*Les chutes entre bassins sont choisies avant tout en fonction des capacités de nage ou de saut des espèces concernées.*

L'écoulement peut être soit à "jet plongeant", soit à "jet de surface". Dans l'écoulement à "jet plongeant", le jet qui se forme au niveau de chaque déversoir plonge vers le fond du bassin (Fig. 5.1) ; l'énergie est dissipée par mélange turbulent et dispersion dans un ressaut situé en pied de la chute. On rencontre ce type d'écoulement chaque fois que le niveau aval est situé au-dessous de la crête déversante.

Dans les passes à "jet plongeant", le poisson doit sauter dans la lame d'eau pour passer d'un bassin à l'autre. Ce type de passe sera réservé aux salmonidés.

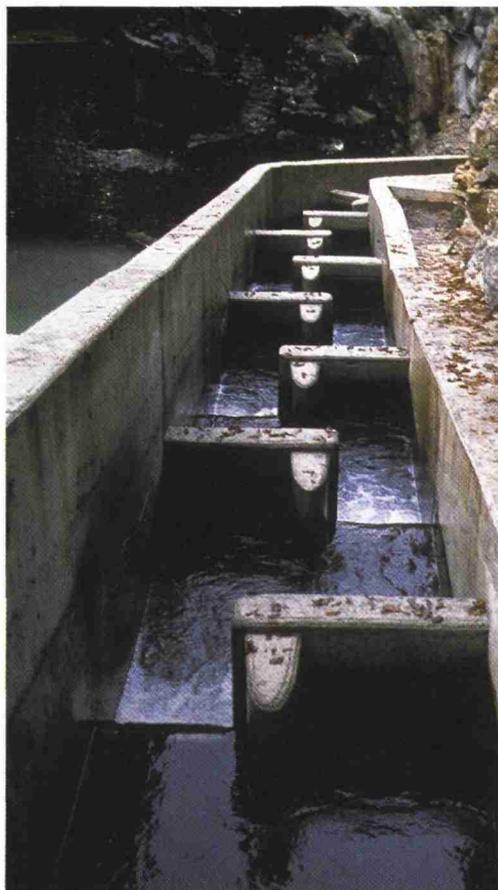


Écoulement à "jet de surface"  
et écoulement à "jet plongeant"

On adopte de préférence une chute voisine de 0.30 m. Celle-ci pourra cependant être augmentée, dans certains cas, jusqu'à 0.60 m pour les grands salmonidés migrateurs et jusqu'à 0.45 m pour la truite. On n'a cependant pas intérêt à trop accroître ces chutes dans la mesure où parallèlement le volume des bassins doit être augmenté afin de dissiper correctement l'énergie supplémentaire.

*Les écoulements à "jet plongeant" sont à éviter impérativement pour l'aloise.*

Dans le mode d'écoulement à "jet de surface", le jet qui se forme au niveau du rétrécissement de la cloison séparant deux bassins demeure en surface. Son énergie se dissipe dans le bassin aval en créant de grandes zones de recirculation. Ce type d'écoulement se produit lorsque le tirant d'eau aval au-dessus de la crête de déversement atteint 0.5 à 0.6 fois la charge amont (Fig. 5.1) [66]. La transition entre l'écoulement à "jet plongeant" et l'écoulement à "jet de surface" est instable et présente une hystérésis marquée.



Passé à salmonidés à "jet plongeant" au barrage de Cau aval (Gaves d'Ossau, Pyrénées-Atlantiques)

Pour les passes à "jet de surface" (fentes, échancrures profondes) ou à orifices noyés, on prendra des chutes entre bassins de 0.30 m à 0.40 m pour le saumon et la truite de mer, environ 0.30 m pour la truite et les cyprinidés d'eau vive (chevesne, barbeau) et de 0.20 m à 0.30 m pour l'aloise (de préférence 0.25 m). Pour la plupart des cyprinidés et les carnassiers, il convient de prendre des chutes comprises entre 0.15 m et 0.25 m, d'autant plus faibles que la taille des individus à faire passer est réduite. ■

# 3 DIMENSIONS DES BASSINS

La difficulté de passage des migrateurs augmente avec la turbulence et l'aération dans les bassins. Un indicateur simple du niveau d'agitation dans les bassins est la puissance dissipée volumique ( $P_v$ ), c'est-à-dire l'expression :

$$P_v = \frac{\rho g Q DH}{V}$$

$P_v$  : Puissance dissipée volumique (watts/m<sup>3</sup>)

$\rho$  : masse volumique de l'eau (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : accélération de la pesanteur (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$Q$  : débit dans la passe (m<sup>3</sup>/s)

$DH$  : chute entre deux bassins (m)

$V$  : volume d'eau dans le bassin considéré (m<sup>3</sup>)

Ce critère permet de déterminer le volume d'eau minimal dans un bassin si l'on se fixe les chutes et le débit ou au contraire, le débit maximal à transiter si chutes et volumes des bassins sont imposés.

Pour les passes à salmonidés, on prendra généralement comme limite supérieure de la puissance volumique dissipée 200 watts/m<sup>3</sup>. Si la passe ne comporte que quelques bassins et pour les très gros ouvrages transitant plusieurs m<sup>3</sup>/s, des valeurs sensiblement plus importantes de  $P_v$  peuvent être adoptées. Par contre, pour les petites passes et les passes à aloses ou poissons blancs, il conviendra de prendre des valeurs plus faibles (inférieures à 150 watts/m<sup>3</sup>).

Le volume minimal des bassins étant fixé par le débit et la chute, leurs dimensions dépendront des conditions hydrodynamiques, c'est-à-dire de la configuration et de l'orientation des jets (liées aux formes et dimensions des fentes, orifices ou échancrures ainsi qu'aux niveaux d'eau de part et d'autre de chaque cloison).

Il convient d'éviter les phénomènes de "court-circuit", c'est-à-dire le passage direct d'un jet à forte vitesse d'un bassin au suivant, sans dissipation d'une fraction suffisante de son énergie cinétique. A l'opposé, les jets ne doivent pas heurter trop violemment les parois car cela peut perturber le comportement du migrateur et compromettre ainsi l'efficacité de l'ouvrage (saut ou piégeage du poisson).

De façon générale, il est préférable de ne pas trop s'écarter des caractéristiques de passes existantes et ayant démontré leur efficacité. Pour ces passes, la longueur des bassins ( $L$ ) est généralement comprise entre  $7d$  et  $12d$ ,  $d$  étant :

- dans les passes à parois déversantes, la charge sur la paroi,
- dans les passes à échancrures, la valeur la plus petite de la largeur de l'échancrure ou de la charge sur l'échancrure,
- dans les passes à fentes verticales, la largeur de la fente,
- dans les passes à orifices noyés, le diamètre ou la plus petite dimension de l'orifice.

En pratique, la plupart des passes à poissons pour les grands migrateurs ont des bassins de longueur variant entre 2.5 m et 3.5 m.

La longueur minimale des bassins est évidemment fonction de la taille des poissons à faire transiter. On peut adopter une longueur minimale de l'ordre de 3 fois la longueur du plus grand poisson à faire passer.

La profondeur minimale des bassins est fonction de l'espèce concernée. Pour les grands salmonidés migrateurs, on prendra une profondeur minimale de l'ordre du mètre. Pour les truites, des valeurs d'une soixantaine de centimètres peuvent suffire.

On veillera, dans les passes à "jet plongeant", à ce que la profondeur d'eau au droit de la chute soit au minimum égale à 2 fois cette chute pour que le poisson puisse prendre aisément son appel.

En pratique, ce sont cependant le plus souvent les conditions hydrodynamiques (débit, chutes entre bassins, configuration des jets) qui déterminent les dimensions minimales des bassins. ■

## 4 DIMENSIONS MINIMALES DES ECHANCRURES DES ORIFICES ET DES FENTES

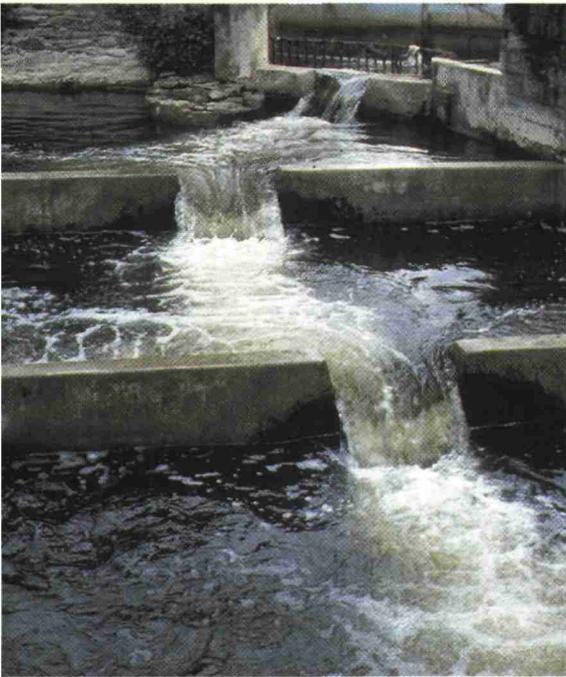
Pour les écoulements à “jet de surface”, les échancrures ou fentes devront avoir des largeurs minimales de 0.30 m à 0.40 m pour les grands salmonidés migrateurs, de 0.45 m pour l’alose et de 0.20 m pour la truite. Pour les espèces migratrices holobiotiques, les largeurs minimales sont à fixer en fonction des tailles des poissons concernés.

Pour les écoulements à “jet plongeant”, il conviendra de prendre des largeurs sensiblement plus importantes, surtout si le poisson doit franchement sauter pour accéder au bassin supérieur.

Quelle que soit l’espèce considérée, même de petite taille, il convient d’adopter des passages suffisamment larges (supérieurs à 0.15-0.20 cm) pour éviter de rendre l’ouvrage trop vulnérable au colmatage.

On prendra des surfaces minimales d’orifices de 0.09 à 0.10 m<sup>2</sup> pour les grands salmonidés migrateurs et les poissons de grande taille, de 0.04 m<sup>2</sup> pour la truite et la plupart des cyprinidés.

On peut rencontrer sur certains ouvrages des orifices de dimensions beaucoup plus réduites : ils sont généralement destinés, non pas au passage du poisson, mais à faciliter la vidange de la passe lors des opérations de maintenance. ■



Passe à échancrures demi-circulaires  
au barrage du Hom sur l’Orne

# 5

## ESTIMATION DES DEBITS DANS UNE PASSE A BASSINS

Les formules usuelles d'hydraulique donnant les débits au-dessus des déversoirs (épais ou en mince paroi, avec ou sans contraction, noyés ou dénoyés suivant le cas) et à travers les orifices permettent de déterminer de façon approchée le débit dans une passe en fonction de ses caractéristiques géométriques : dimensions et cotes de déversement des échancrures ou des fentes, dénivellation entre deux cloisons successives, niveaux d'eau amont et aval.

L'expression donnant le débit à travers un orifice noyé est de la forme (Fig. 5.2a) :

$$Q = C_d S \sqrt{2gDH}$$

Q est le débit (m<sup>3</sup>/s)

S est la section de l'orifice (m<sup>2</sup>)

g est l'accélération de la pesanteur (9.81 m/s<sup>2</sup>)

DH est la chute entre les deux bassins (m)

C<sub>d</sub> est le coefficient de débit

Les principaux facteurs affectant le coefficient de débit sont la forme et le profil de l'orifice, l'épaisseur de la cloison dans laquelle est pratiqué cet orifice ainsi que la position de l'orifice dans la cloison. En général, le chanfreinage ou l'arrondissement des arêtes en amont se traduisent par une augmentation du coefficient de débit. Celui-ci peut varier de 0.65 à plus de 0.85.

L'expression donnant le débit à travers une fente verticale est de la forme (Fig. 5.2b) :

$$Q = C_d b H_1 \sqrt{2gDH}$$

Q est le débit (m<sup>3</sup>/s)

b est la largeur de la fente (m)

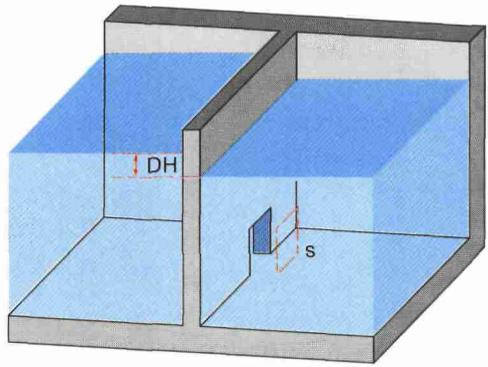
H<sub>1</sub> est la charge sur la fente (m), c'est-à-dire la différence entre la cote du niveau d'eau à l'amont de la fente et la cote de la base de cette fente.

g est l'accélération de la pesanteur (9.81 m/s<sup>2</sup>)

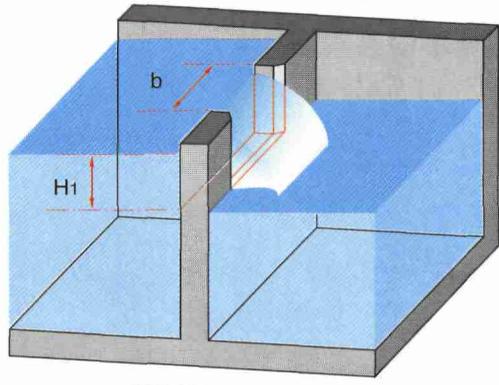
DH est la chute entre les deux bassins (m)

C<sub>d</sub> est le coefficient de débit

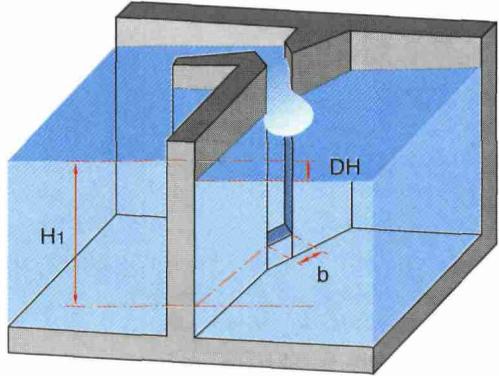
$$Q = C_d^a S \sqrt{2gDH}$$



$$Q = C_d^b b H_1 \sqrt{2gDH}$$



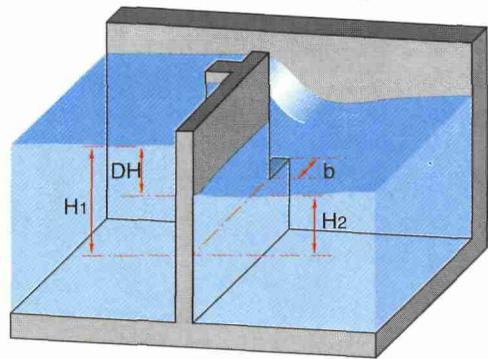
$$Q = C_d^c b \sqrt{2gH_1^{1.5}}$$



$$Q_n = K Q_d$$

$$K = \left[ 1 - \left( \frac{H_1 - DH}{H_1} \right)^{1.5} \right]^{0.385}$$

$$Q_d = C_d^d b \sqrt{2g} H_1^{1.5}$$



Paramètres géométriques et hydrauliques permettant d'évaluer le débit dans une passe à bassins

fig. 5.2

Les principaux facteurs affectant le coefficient de débit sont la forme et le profil de la fente. L'arrondissement des arêtes en amont se traduit par une augmentation du coefficient de débit. Celui-ci peut varier de 0.65 pour une fente à arêtes vives à plus de 0.85 lorsque le profil de la fente est arrondi.

L'expression donnant le débit à travers une échancrure rectangulaire constituant un déversoir dénoyé est de la forme (Fig. 5.2c) :

$$Q = C_d b \sqrt{2g} H_i^{1.5}$$

$Q$  est le débit ( $m^3/s$ )

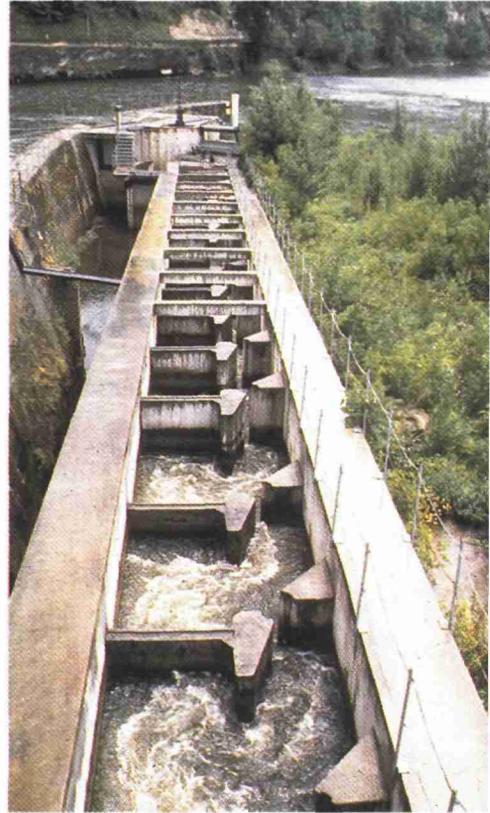
$b$  est la largeur de l'échancrure (m)

$g$  est l'accélération de la pesanteur ( $9.81 m/s^2$ )

$H_i$  est la charge sur l'échancrure (m), c'est-à-dire la différence entre la cote du niveau d'eau à l'amont de l'échancrure et la cote de déversement de cette échancrure.

$C_d$  est le coefficient de débit

Les principaux facteurs affectant le coefficient de débit sont le profil de l'échancrure, l'épaisseur de la cloison dans laquelle est pratiquée cette échancrure. Comme pour les orifices et les fentes, le chanfreinage ou l'arrondissement des arêtes en amont se traduisent par une augmentation du coefficient de débit. Celui-ci peut varier de 0.33 pour une échancrure constituant un déversoir épais à près de 0.5 pour une échancrure profilée épousant la forme de la lame d'eau. Dans la majorité des cas, le coefficient de débit est de l'ordre de 0.4.



Passé à fentes verticales de Mauzac sur la Dordogne



Passé à fentes verticales de Méricourt sur la Seine

Lorsque l'échancrure peut être considérée comme un déversoir rectangulaire en mince paroi noyé par l'aval (c'est-à-dire lorsque la cote de déversement de l'échancrure d'une cloison est située au-dessous du niveau du plan d'eau dans le bassin situé immédiatement à l'aval) et pour un noyage modéré -  $(H_1 - DH)/H_1 < 0.9$  -, le débit  $Q_n$  en régime noyé peut être approché par l'expression suivante (Fig. 5.2d) :

$$Q_n = K Q_d$$

$$\text{avec } K = \left[ 1 - \left( \frac{H_1 - DH}{H_1} \right)^{1.5} \right]^{0.385}$$

$$\text{et } Q_d = C_d b \sqrt{2g} H_1^{1.5}$$

où

$Q_d$  est le débit ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) du même déversoir en régime dénoyé correspondant à la charge  $H_1$ ,

$H_1$  est la charge sur l'échancrure (m), c'est-à-dire la différence entre la cote du niveau d'eau à l'amont de l'échancrure et la cote de déversement de cette échancrure,

DH est la chute entre les deux bassins (m),

K est un coefficient de réduction de débit ( $< 1$ ) induit par le noyage.

Il convient de souligner que les formules précédentes ne donnent qu'une valeur approximative du débit, dans la mesure où les conditions d'approche dans une passe à poissons et les caractéristiques des parois déversantes sont généralement très différentes de celles requises pour pouvoir utiliser en toute rigueur les formules de déversoirs classiques mises au point en laboratoire. Compte tenu de l'épaisseur des cloisons séparant les bassins, on se trouve souvent à la transition entre les déversoirs "en mince paroi" et les déversoirs "à crête épaisse", c'est-à-dire dans le domaine des déversoirs "courts" pour lesquels les coefficients de débit sont variables et évoluent rapidement en fonction de la charge. L'état de rugosité des parois peut avoir une influence non négligeable sur les coefficients de débit, une forte rugosité ayant tendance à réduire les contractions de l'écoulement. Enfin, les caractéristiques de l'écoulement au niveau de la cloison amont sont généralement différentes de celles au niveau des cloisons suivantes, dans la mesure où les vitesses d'approche sont plus faibles et les conditions amont plus homogènes.

Dans la pratique, le niveau de précision obtenu est cependant suffisant pour dimensionner efficacement un ouvrage. Si la passe transite intégralement le débit réservé, ce qui est souvent le cas dans les micro centrales de montagne, on exigera une précision supérieure dans l'estimation du débit et il conviendra alors de donner des profils adéquats et de calibrer avec soin les échancrures ou orifices amont. ■

# 6

## CALAGE D'UNE PASSE A BASSINS

Le calage d'une passe à bassins sur un obstacle donné consiste à déterminer le nombre de bassins nécessaires, à choisir le mode de communication entre ces bassins et à positionner en altitude les différentes échancrures, le radier de l'ouvrage ainsi que les murs latéraux. La démarche à suivre est la suivante :

■ On fixe la chute entre bassins, généralement en fonction des espèces concernées.

■ A partir de la chute maximale, le plus souvent observée en étiage, on détermine le nombre de chutes (N) et par conséquent le nombre de bassins (N-1).

■ On choisit le mode de communication entre bassins (géométrie et dimensions des échancrures, fentes ou orifices) en fonction des espèces migratrices (dimensions minimales à respecter, configurations d'écoulement à éviter pour certaines espèces) et de l'amplitude de variation des niveaux d'eau amont et aval en période de migration.

■ On fixe le débit dans la passe généralement pour les conditions d'étiage. Il est le plus souvent déterminé en fonction de l'importance du cours d'eau et des espèces migratrices concernées. Il peut correspondre pour partie ou en totalité au débit réservé fixé par la réglementation. Les volumes et dimensions minimales des bassins découlent des critères sur les puissances dissipées volumiques admises et du mode de communication entre bassins (forme et configuration des jets) ainsi que des espèces migratrices concernées (dimensions et profondeurs minimales de bassins suivant les espèces).

■ A partir du débit choisi dans la passe et du niveau d'eau de référence amont, on fixe les dimensions et les altitudes des communications entre les bassins. On utilise pour ce faire les formules hydrauliques appropriées. Les cotes du radier de la passe découlent des profondeurs d'eau adoptées dans chaque bassin pour satisfaire au critère sur les puissances volumiques dissipées maximales.

■ Une fois la passe correctement dimensionnée et calée pour les conditions de niveau de référence, on vérifie que les chutes ainsi que les niveaux de turbulence et d'aération dans les bassins (appréciés par la puissance dissipée volumique), restent acceptables pour l'ensemble des conditions de niveau amont et aval rencontrées en période de migration des espèces concernées. On vérifie en particulier le fonctionnement de la passe pour les conditions extrêmes de niveau des plans d'eau amont et aval prises en compte.

En cas de non-respect des critères retenus sur les chutes maximales entre bassins ou sur les puissances dissipées volumiques admissibles, il devient nécessaire de modifier le mode de communication entre bassins (de façon à réduire le débit et la turbulence), d'augmenter le volume des bassins ou de prévoir un dispositif de régulation dans la partie amont de la passe. Il convient cependant de veiller à conserver dans la passe un débit en rapport avec celui du cours d'eau de façon à conserver une attractivité suffisante à l'ouvrage.

■ Pour augmenter l'attractivité de la passe tout en limitant son volume, on peut injecter (à travers une grille et à faible vitesse) un débit d'appoint, dans le bassin aval le plus souvent. Dans ce cas, le dimensionnement de l'entrée de la passe (largeur, cote de déversement) devra évidemment prendre en compte à la fois le débit de la passe et ce débit d'appoint.

■ Une fois le fonctionnement hydraulique de la passe assuré, on établit par le calcul la "courbe de remous" (c'est-à-dire les niveaux d'eau dans tous les bassins) pour les niveaux amont et aval extrêmes, ce qui permet de caler en altitude la cote d'arase des cloisons entre bassins ainsi que celle des murs latéraux de l'ouvrage. On pourra être amené, pour des considérations autres que le fonctionnement de la passe, comme la protection de l'ouvrage contre les crues ou son intégration dans le barrage, à surélever certains murs de la passe.

■ On veillera, si la passe n'est pas rectiligne et fait un brusque changement de direction (virage à 180° par exemple), à réserver, entre le virage et la cloison qui le précède, une longueur minimale égale à la longueur d'un bassin standard. On évite de ce fait que le jet issu de la fente ou de l'échancrure n'aille heurter trop violemment la paroi opposée.

■ Dans les bassins où se font les changements brusques de direction de la passe, les angles droits seront coupés ou arrondis afin d'éviter la formation de courants verticaux susceptibles d'inciter les migrateurs à sauter hors de la passe. ■

## 7 ADAPTATION DES PASSES A BASSINS AUX VARIATIONS DES NIVEAUX AMONT ET AVAL

Les fluctuations des niveaux d'eau amont et aval de part et d'autre d'un obstacle peuvent induire des modifications notables du fonctionnement hydraulique d'une passe à bassins.

Dans la plupart des cas, lorsque le débit augmente, le niveau aval remonte plus rapidement que le niveau amont, ce qui se traduit par une diminution de la chute. Plus rarement, sur certains ouvrages, niveaux amont et aval subissent des variations très voisines. Lorsqu'existent des organes d'évacuation mobiles (clapets, vannes), en particulier sur les ouvrages importants, le niveau amont peut rester pratiquement constant en crue - voire s'abaisser lorsque le point de basculement se situe en amont du barrage - alors que le niveau aval est susceptible de subir une élévation importante.



Suppression des angles droits dans un bassin de changement de direction à 180° dans une passe à échancures latérales

Les passes à bassins s'adaptent plus ou moins bien aux variations de niveau suivant la géométrie des communications entre bassins :

- dans le cas d'une passe dont la partie déversante occupe une grande part de la largeur de la cloison, toute augmentation du niveau d'eau amont se traduit par un accroissement très rapide du débit, donc de la turbulence et de l'aération dans les bassins,
- dans le cas d'une passe à fente verticale, le débit et le volume d'eau dans les bassins croissent à peu près linéairement avec le niveau amont, les vitesses et le niveau de turbulence restant à peu près constants,
- dans le cas d'une passe à orifices noyés, la différence de niveau de part et d'autre des orifices ne variant pas, le débit reste inchangé.

La passe supporte d'autant mieux les variations de niveau (à l'amont comme à l'aval) que l'écoulement est "pincé", c'est-à-dire les communications sont étroites et profondes.

Lorsque le niveau aval s'élève plus rapidement que le niveau amont, ce qui est le cas sur la plupart des obstacles, le "noyage" de la passe, ou le "remous", se fait sentir d'autant plus en amont que les échancrures ou fentes sont étroites et profondes.

Avec des échancrures larges (passes à "jet plongeant"), l'effet des variations de cote du plan d'eau aval se concentre au niveau de la chute aval. Une élévation du niveau aval entraîne une diminution rapide de cette chute et se traduit par une réduction importante de la vitesse et de l'attractivité du dispositif. Un abaissement du niveau aval a pour conséquence une augmentation de la chute qui peut alors devenir difficilement franchissable.

Au contraire, dans le cas d'échancrures ou fentes étroites (passes à "jet de surface"), les effets des variations de cote du plan d'eau aval se répartissent sur plusieurs bassins et ce type de communication entre bassins est davantage apte à supporter les variations du niveau aval : lorsque le niveau aval augmente, l'attractivité de l'ouvrage est mieux conservée et, lorsque le niveau aval s'abaisse, la chute à l'entrée de la passe s'accroît moins vite.

Lorsque le niveau amont reste constant, on a la liberté de choisir des passages relativement larges pour le poisson. Ce sont alors les variations du niveau d'eau à l'aval qui détermineront dans une certaine mesure les largeurs de passage optimales : dans le cas de variations notables de la ligne d'eau aval, on aura intérêt à limiter le noyage de la passe et à conserver des vitesses suffisantes tout au moins dans les échancrures en ménageant des passages profonds et étroits.

Dès que les variations du niveau amont deviennent notables, il conviendra de pincer l'écoulement. Pour les gros ouvrages, la solution de la passe à fentes verticales s'imposera. Lorsque les débits dans l'ouvrage sont de l'ordre de 300 à 700 l/s, la solution la meilleure sera souvent une passe à échancrures latérale alternées et orifices noyés. ■

## 8

### SECTIONS DE REGULATION

Le contrôle du débit dans une passe pour limiter la turbulence à un niveau acceptable peut aussi se faire en installant à l'amont de l'ouvrage une section de régulation qui peut être de plusieurs types : statique (par une série de fentes verticales ou d'orifices noyés), mobile (par une succession de déversoirs ou clapets réglables), ou encore par un ensemble de dispositifs plus complexes qui permettent de court-circuiter un certain nombre de bassins en installant des sorties à plusieurs niveaux. On donne sur la figure 5.3 quelques exemples de sections de régulation.

Lorsque les variations de niveau deviennent notables, le contrôle ne peut se faire qu'en intervenant sur plusieurs bassins car il convient de ne pas créer localement de singularité susceptible de bloquer les migrateurs : le réglage d'une seule vanne ou d'un seul clapet en amont d'une passe dans le but de limiter l'augmentation du débit peut induire localement une vitesse et une chute infranchissables par le poisson. Au niveau de la section de régulation, il faut veiller tout particulièrement au respect des critères sur les vitesses, les chutes et les puissances dissipées volumiques.

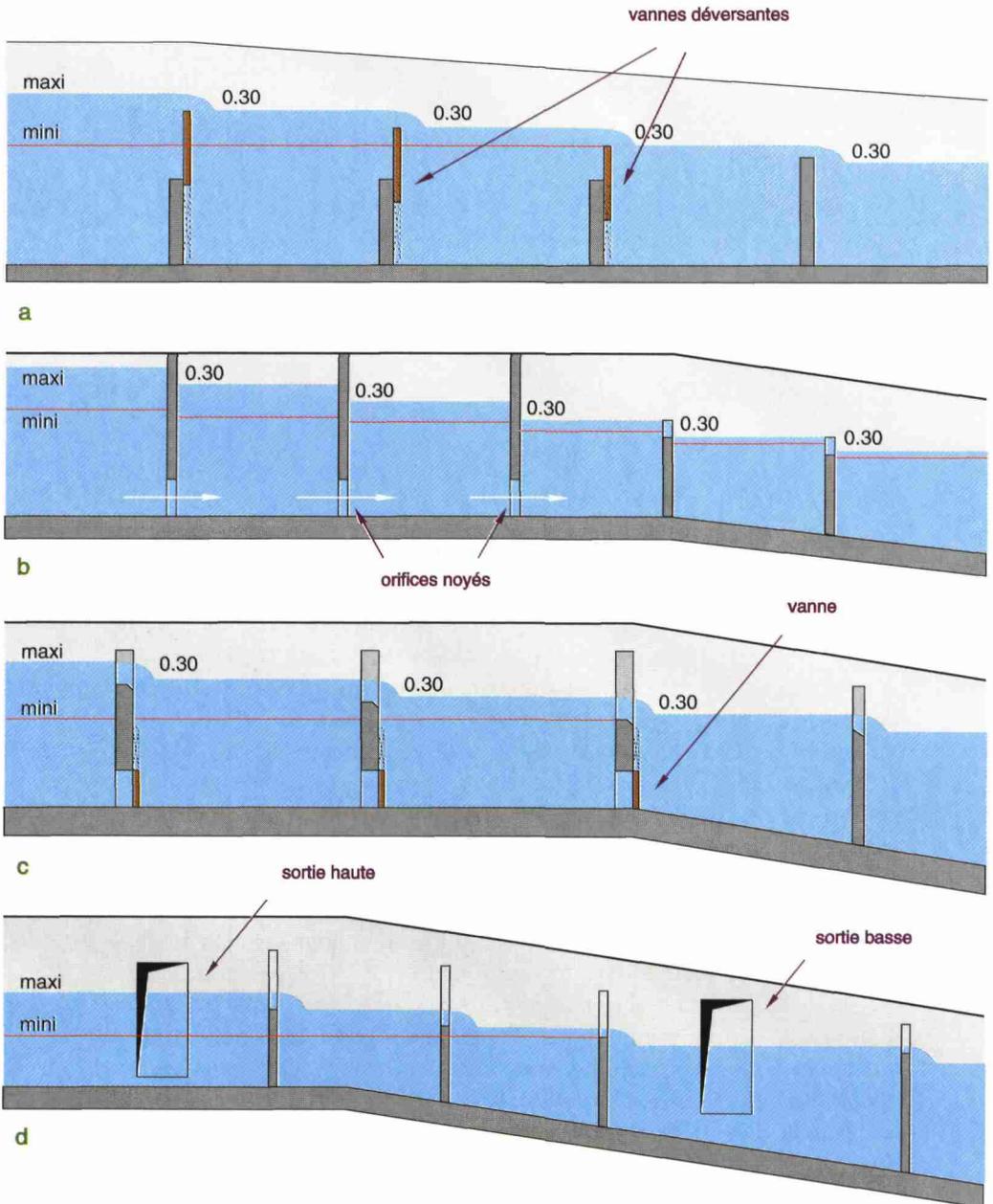


fig. 5.3

Schémas illustrant le principe des sections de régulation dans une passe à bassins

Une solution consiste à installer à l'amont de l'ouvrage une série de vannes ou de clapets dont la position est asservie (manuellement ou automatiquement) au niveau amont et qui permettent à la fois de conserver dans l'ouvrage un débit à peu près constant tout en garantissant des chutes franchissables par le migrateur (Fig. 5.3a).

Pour les petits ouvrages (100 à 200 l/s), on choisit souvent des passes à "jet plongeant" pour limiter la longueur des bassins et adopter des pentes élevées (cas des micro centrales de montagne). Pour limiter les variations de débit en cas d'augmentation du niveau amont, la solution la plus fréquente consiste à adopter une section de régulation comportant plusieurs orifices noyés (Fig. 5.3b). Les orifices seront dimensionnés de telle sorte que la chute entre bassins ne dépasse pas une trentaine de cm pour les conditions de niveau amont maximales rencontrées en période de migration. En condition d'étiage ou d'eaux moyennes, les chutes au niveau de la section de régulation seront donc inférieures, de l'ordre de 10 à 20 cm. Une attention particulière devra être apportée aux risques de colmatage de ces orifices par les corps dérivants.

Lorsque le niveau du plan d'eau amont subit des variations beaucoup plus importantes que celui à l'aval, une solution consiste à dimensionner la passe et le nombre de chutes pour le niveau amont le plus haut. Lorsque celui-ci s'abaisse, on peut supprimer les chutes amont en ouvrant une communication (ouverture d'une vanne) au niveau des cloisons correspondantes (Fig. 5.3c) ou en installant latéralement plusieurs sorties dans les bassins amont (Fig. 5.3d). ■

## 9 INTERET DES PASSES A BASSINS

Lorsqu'on a affaire à plusieurs espèces migratrices (saumons, truite de mer, truites, cyprinidés...) la passe à bassins semble être la meilleure solution, beaucoup moins sélective que les passes à ralentisseurs. Dans la mesure où son tracé peut comporter des changements de direction fréquents et relativement brusques (virages à 180°), ce type de passe, malgré une pente limitée, est susceptible de s'intégrer relativement facilement (en rive le plus souvent) dans les ouvrages existants.

Les passes à orifices noyés présentent en général peu d'intérêt et sont à l'heure actuelle rarement utilisées : leur entretien est difficile (obturation fréquente des orifices), leur débit a tendance à diminuer en crue lorsque la chute globale au niveau de l'obstacle diminue, le poisson peut avoir du mal à trouver l'orifice situé généralement au fond du bassin. Elles sont par ailleurs à proscrire pour l'aloise.

Les passes à fentes verticales ne conviennent pour les grands migrateurs que pour des débits importants (supérieurs à 0.70 m<sup>3</sup>/s - 1 m<sup>3</sup>/s). Elles présentent l'avantage de s'adapter sans section de régulation à des variations importantes des niveaux amont et aval (plusieurs mètres).

Les passes à échancrures, associées ou non à des orifices de fond, sont les plus couramment utilisées car elles s'adaptent à de nombreux cas de figure : elles admettent une gamme étendue de débits (de quelques dizaines de litres/s à plusieurs m<sup>3</sup>/s) et, dans la mesure où les échancrures sont suffisamment profondes, elles supportent des variations relativement importantes du niveau amont.

Pour guider le projeteur, on a donné dans la suite les caractéristiques géométriques de plusieurs passes à bassins couramment utilisées en France et à l'étranger. ■

# 10 EXEMPLES DE PASSES A BASSINS

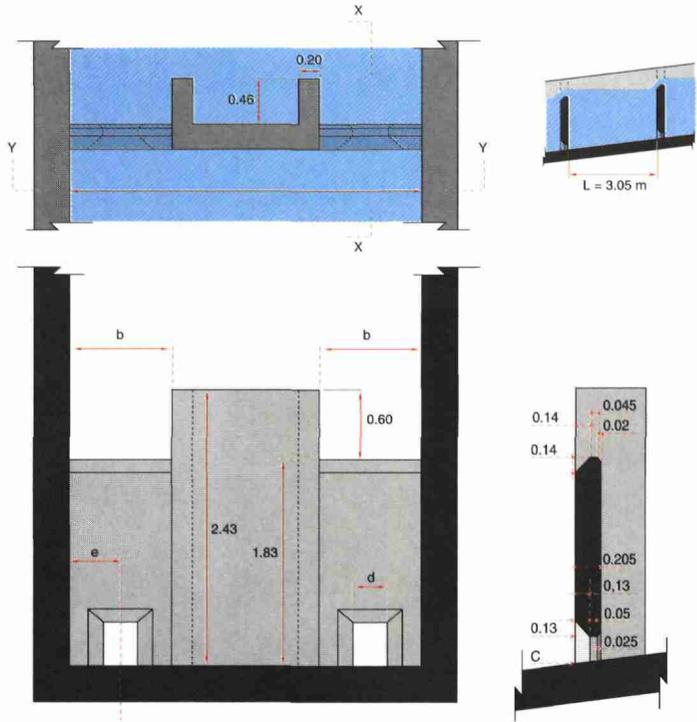
## 10.1 Passe de type Ice Harbor



Passe de type Ice Harbor au barrage de Vernon (rivière Connecticut, USA)

Ce type de passe (Fig. 5.4) qui a fait l'objet de nombreuses études sur modèles réduits a été souvent utilisé pour les salmonidés sur les côtes Ouest (en particulier au barrage d'Ice Harbor sur la rivière Columbia) et Est des USA [98 ; 7]. La longueur minimale des bassins est voisine de 3 m, le tirant d'eau moyen est de 2 m, la dénivellation entre bassins de 0.30 m, la pente de 10%. L'écoulement se fait par une ou deux échancrures latérales suivant l'importance du débit à transiter, la charge restant voisine de 0.30 m.

La largeur des passes à deux échancrures peut aller de 2 m à plus de 10 m sur les gros ouvrages pour des débits de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  à plus de  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ . La puissance dissipée volumique varie *grosso modo* de  $150 \text{ watts}/\text{m}^3$  à  $200 \text{ watts}/\text{m}^3$  selon les aménagements.



Caractéristiques d'une  
passe à bassins  
de type Ice Harbor

fig. 5.4

Q (*) (m <sup>3</sup> /s)	B (m)	b (m)	e (m)	cXd (mXm)	p <sub>v</sub> (*) (watts/m <sup>3</sup> )
1.0	3.05	0.95	0.55	0.30x0.30	160
1.6	4.26	1.32	0.79	0.46x0.41	180
2.0	5.20	1.63	0.91	0.46x0.46	180

(\*) débit et puissance volumique dissipée  
pour la charge maximale de 0.30 m

RIZZO [99] donne un certain nombre de critères permettant de dimensionner ce type de passe. Le coefficient de débit de l'échancrure latérale est de l'ordre de 0.45, celui des orifices voisin de 0.85.

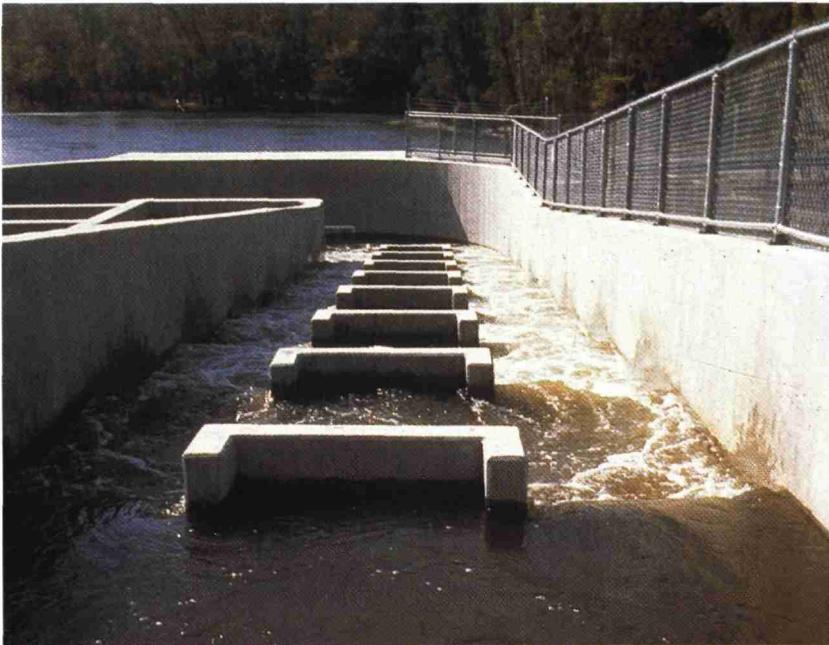
La largeur de chaque échancrure latérale est égale à 0.312 B, B étant la largeur de la passe. La dimension des orifices varie de (0.30m x 0.30m) pour une passe dimensionnée pour 1 m<sup>3</sup>/s à (0.46m x 0.46m) pour les passes dimensionnées pour des débits supérieurs à 2 m<sup>3</sup>/s. Les caractéristiques des bassins sont données sur la figure 5.4.

L'écoulement est à "jet plongeant" et ne tolère qu'une faible variation de niveau amont : une section de régulation par fentes verticales ou succession de déversoirs télescopiques lui est généralement associée lorsque la cote du niveau d'eau amont varie.

Ce type de passe a été utilisé pour l'alose sur certains aménagements américains. L'expérience a montré que le passage de cette espèce s'avérait problématique pour la charge de dimensionnement de 0.30 m (jet plongeant). Plusieurs modifications ont dû être adoptées pour améliorer l'efficacité des dispositifs [95] :

- augmentation de la charge (0.40m-0.45m) pour obtenir un écoulement plus superficiel,
- réduction de la section des orifices et obturation d'une échancrure sur deux, en quinconce, de façon à éviter les phénomènes de court-circuit et diminuer la turbulence dans les bassins.

On se rapproche alors du type de passe à échancrure latérale et à orifice noyé décrit dans la suite.



Passé de type Ice Harbor au barrage de Vernon (rivière Connecticut, USA)

## 10.2 Passe à échancrures latérales profondes et à orifices noyés

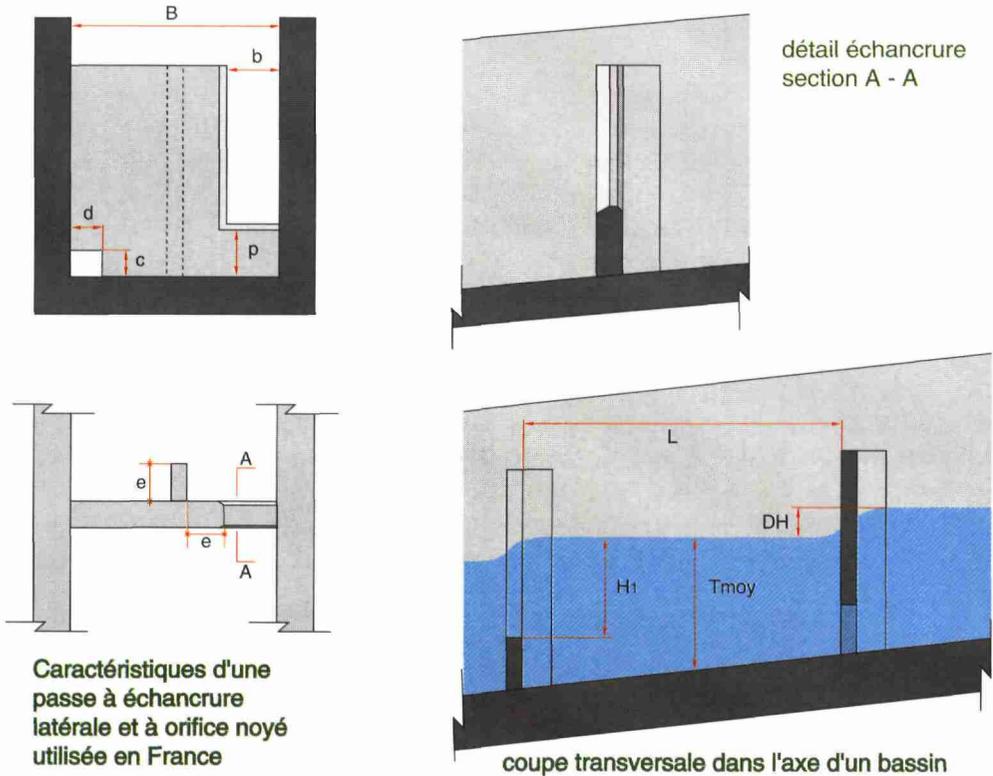


fig. 5.5

**Caractéristiques d'une passe à échancrure latérale et à orifice noyé utilisée en France**

Q (*) (m <sup>3</sup> /s)	L (m)	B (m)	T <sub>moy</sub> (m)	b (m)	cxd (m x m)	e (m)	P (m)	H <sub>1</sub> (*) (m)
0.175	2.20	1.25	1.15	0.20	0.15x0.15	0.15	0.70	0.60
0.300	2.70	1.50	1.30	0.30	0.20x0.20	0.25	0.80	0.65
0.500	3.15	1.80	1.50	0.40	0.30x0.30	0.35	0.925	0.725
0.700	3.50	2.00	1.65	0.45	0.375x0.375	0.40	0.95	0.85

(\*) charge et débit de dimensionnement

Ce type de passe (Fig. 5.5) qui a fait l'objet de plusieurs études sur modèles réduits est couramment utilisé en France. La communication entre bassins s'effectue par des échancrures latérales et des orifices de fond situés à l'opposé l'un de l'autre et dont les positions sont alternées d'un bassin à l'autre. Un déflecteur fixé sur la face amont de la cloison stabilise l'écoulement et réduit le décollement dans l'échancrure.

L'écoulement étant à "jet de surface", c'est la largeur de l'échancrure qui détermine dans une certaine mesure les dimensions des bassins, leur volume minimal étant fixé par la puissance dissipée volumique.

L'hydrodynamique de ce type de passe n'est cependant pas optimale dans la mesure où tout le volume d'eau dans le bassin ne participe pas à la dissipation de l'énergie : le jet issu de l'échancrure reste relativement compact, formant un tube de courant qui vient heurter la face amont de la cloison. Latéralement au courant principal et en aval de la cloison se forme une zone de recirculation participant peu à la dissipation de l'énergie.

On a donc intérêt à maximiser le rapport de la longueur des bassins à la largeur de l'échancrure ( $L/b$ ) et à réduire dans la mesure du possible le rapport de la largeur du bassin à la largeur de l'échancrure ( $B/b$ ). Cela se fait cependant au détriment de la pente de l'ouvrage et de sa longueur.

On a donné à titre d'exemple sur la figure 5.5 les caractéristiques de bassins dimensionnés pour plusieurs débits. La chute entre bassins est généralement de 30 cm.

L'écoulement est à "jet de surface", la charge minimale sur l'échancrure est d'environ deux fois la chute entre bassins (soit 0.60 m pour la chute la plus courante de 0.30 m), de façon à éviter la zone d'instabilité située entre l'écoulement à "jet de surface" et l'écoulement à "jet plongeant". Le rapport ( $L/b$ ) varie le plus souvent de 8 à 10 et le rapport ( $B/b$ ) de 4 à 6.

Ce type de passe ne convient pas pour les faibles débits : compte tenu de la nécessité d'une charge minimale et d'une largeur minimale de la fente (0.20 m environ pour la truite) cette passe ne peut pas être utilisée pour des débits inférieurs à 150 l/s. Pour les passes à plus faibles débits, on adoptera une passe classique à "jet plongeant" à échancrures plus larges.

Le principal avantage de ce type de passe réside dans sa simplicité de construction et le fait qu'elle supporte sans nécessité d'intervention des variations notables du niveau amont.

### 10.3 Passe à poissons blancs et à truites (Allemagne, Suisse)

Les passes à bassins à échancrures de surface et à orifices noyés rectangulaires ont été fréquemment utilisées en Allemagne et en Suisse. On a reporté sur la figure 5.6 les caractéristiques des bassins données par JENS [47] pour les passes à truites et les passes pour poissons blancs de cours d'eau de deuxième catégorie.

Les dénivellations maximales entre bassins préconisées sont de 0.30 m pour les passes à truites et de 0.25 m pour les passes à poissons blancs, les profondeurs minimales à prendre en compte étant respectivement de 0.60 m et 0.80 m, les longueurs minimales des bassins de 0.80 m et 2.00 m. Le débit dans ce type de passe est inférieur à 200 l/s. L'auteur donne les dimensions minimales des bassins, des échancrures et des orifices, mais il ne fournit par contre aucun élément permettant de dimensionner les bassins en fonction des caractéristiques choisies pour les échancrures.

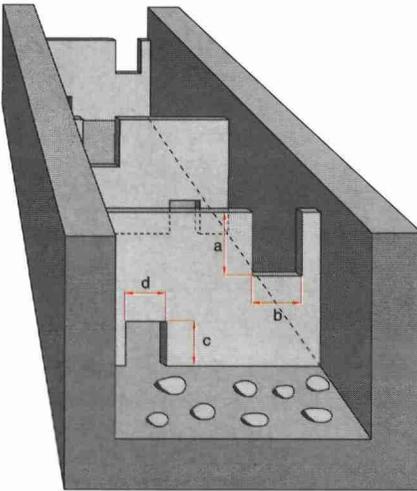


fig. 5.6

Caractéristiques d'une passe à bassins allemande pour poissons blancs et truites (d'après JENS, 1982 [47])

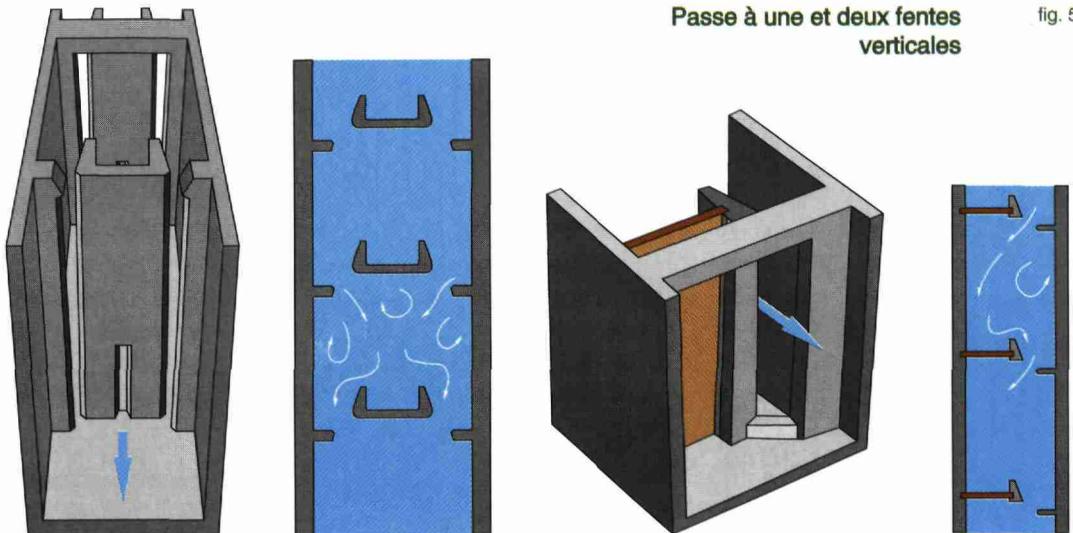
	Passe à poissons blancs	Passe à truites
Profondeur minimale	0.80 m	0.60 m
Longueur (intérieure)	> 2.0 m	> 0.80 m
Largeur (intérieure)	> 0.80 m	> 0.60 m
Chute	< 0.25 m	< 0.30 m
Revanche des murs latéraux	> 0.30 m	> 0.30 m
Echancrure (b x a)	0.20 x 0.25 m 0.25 x 0.30 m	> 0.20 x 0.20 m
Orifice noyé (d x c)	0.25 x 0.30 m	inutile

L'auteur préconise d'enchâsser des blocs de 15 à 20 cm de diamètre dans le radier de façon à augmenter la rugosité de celui-ci et offrir ainsi aux espèces de petites tailles des aires de repos.

Ce type de passe, *a priori* très peu turbulente, convient à la majorité des espèces, même de petite taille. Elle peut se révéler cependant peu attractive et difficile à trouver pour le poisson sur un grand cours d'eau compte tenu de son faible débit. Elle ne tolère d'autre part que de faibles variations du plan d'eau amont.

## 10.4 Passe à fentes verticales

Ce type de passe (Fig. 5.7) a été mis au point suite à plusieurs études sur modèles réduits pour permettre au saumon de franchir les rapides de Hell's Gate sur la rivière Fraser au Canada [17]. Le modèle original consistait en une succession de vastes bassins de 5.5 m de longueur et 6.1 m de largeur comportant deux fentes verticales de 60 cm de largeur. Les jets issus des fentes convergent et se rencontrent dans la partie centrale, procurant une dissipation d'énergie efficace et créant des zones calmes sur chaque côté du bassin et à l'aval immédiat des cloisons. De nombreuses passes, basées sur le même principe mais ne comportant le plus souvent qu'une seule fente, ont été construites un peu partout dans le monde [17 ; 2].



Passes à une et deux fentes  
verticales

fig. 5.7

La géométrie de la fente, le fait que les arêtes soient vives ou plus ou moins arrondies, la hauteur du seuil ainsi que la hauteur d'eau au niveau de la fente influent sur le coefficient de débit [83 ; 91 ; 66] qui peut varier de 0.65 à plus de 0.85 [17].

Les coefficients de débit des passes à fentes verticales étudiées sur modèle réduit en France sont de l'ordre de 0.65-0.70. Ces valeurs relativement basses peuvent s'expliquer par le fait que le profil des fentes se caractérise par des arêtes vives, alors que celles utilisées aux USA sont généralement arrondies [99].

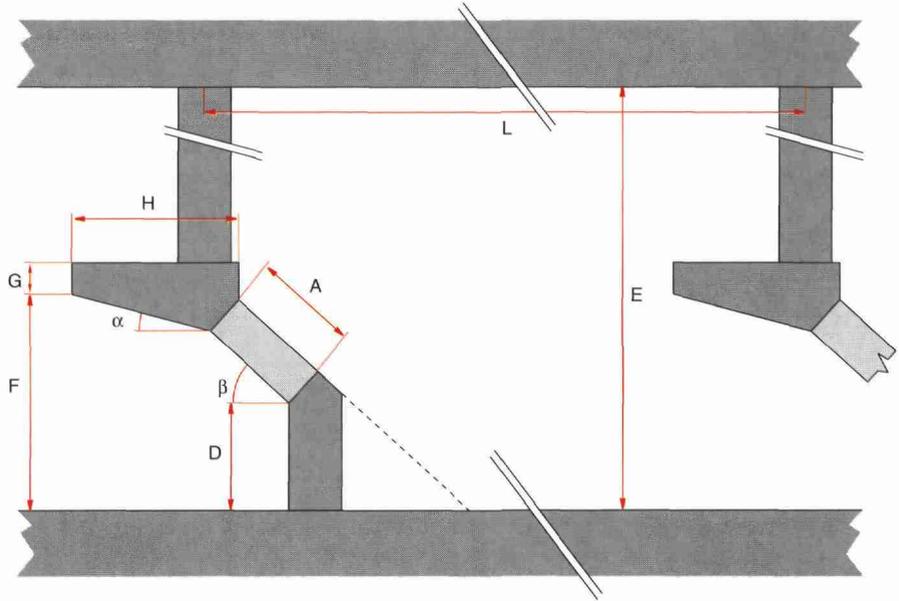
On installe généralement un seuil d'une hauteur minimale d'une vingtaine de cm à la base de la fente. Ce seuil a pour double but d'améliorer le guidage du jet en diagonale dans le bassin en évitant le phénomène de court-circuit et de limiter le débit dans la passe.

Le jet au sortir de la fente a tendance à être guidé dans une direction normale à l'arête horizontale du seuil ; on lui donne généralement une inclinaison par rapport à l'axe du bassin variant de 35° à 45°. Il est préférable d'adopter un angle d'autant plus fort que la hauteur du seuil est réduite, cela afin d'éviter le phénomène de court-circuit. À l'opposé, on réduira l'inclinaison du jet lorsque la hauteur du seuil est importante pour éviter un impact trop violent de ce jet contre la paroi opposée du bassin, impact qui risque de perturber le comportement du migrateur. L'angle est aussi fonction du facteur de forme du bassin, c'est-à-dire du rapport longueur sur largeur.

La chute entre bassins est généralement voisine de 30 cm pour les grands salmonidés migrateurs. La géométrie des fentes et la forme des bassins peuvent varier sensiblement d'un aménagement à l'autre.

On a porté sur la figure 5.8 les caractéristiques géométriques de quelques passes à fentes verticales réalisées récemment et qui ont fait pour la plupart l'objet d'études sur modèle [39 ; 40 ; 41 ; 42 ; 66].

La longueur des bassins, rapportée à la largeur de la fente varie de 8 à 10. La largeur des bassins pour les passes à une fente varie de 6 à 8 fois la largeur de la fente. Dans une passe à deux fentes, elle est de l'ordre de 9 à 10 fois la largeur de la fente.



	Bazacle	Ramier	Belleville (2 fentes)	Bergerac (2 fentes)	Mauzac	Claies de Vire	Vichy
$\alpha$	15°	15°	20	17°	19°	18°	15°
$\beta$	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°
A(m)	0.40	0.50	0.60	0.55	0.45	0.30	0.50
D(m)	0.40	0.375	0.40	0.45	0.485	0.40	0.42
E(m)	2.50	2.50	5.00	6.00	2.80	2.50	2.50
F(m)	0.86	0.93	1.10	1.15	1.064	0.80	1.00
G(m)	0.15	0.13	0.20	0.22	0.20	0.12	0.15
H(m)	0.80	0.90	1.08	1.20	1.00	0.65	1.00
L(m) entre axe	3.70	4.50	4.40	4.50	3.80	3.30	4.50

Caractéristiques géométriques des passes à fentes verticales

fig. 5.8

Des essais ont été effectués sur modèle [66] en vue de simplifier la géométrie des déflecteurs et la mise en place des cloisons et de proposer une fente verticale-type dont toutes les caractéristiques sont données en fonction de la largeur de la fente (Fig. 5.9).

Le gros avantage de la passe à fentes verticales est qu'elle supporte des variations importantes du niveau amont, à condition que le niveau aval subisse des variations du même ordre de grandeur.

Les conditions de vitesse et de turbulence restent très stables quels que soient les niveaux d'eau dans la passe. Le poisson peut franchir la passe en nageant à la profondeur choisie.

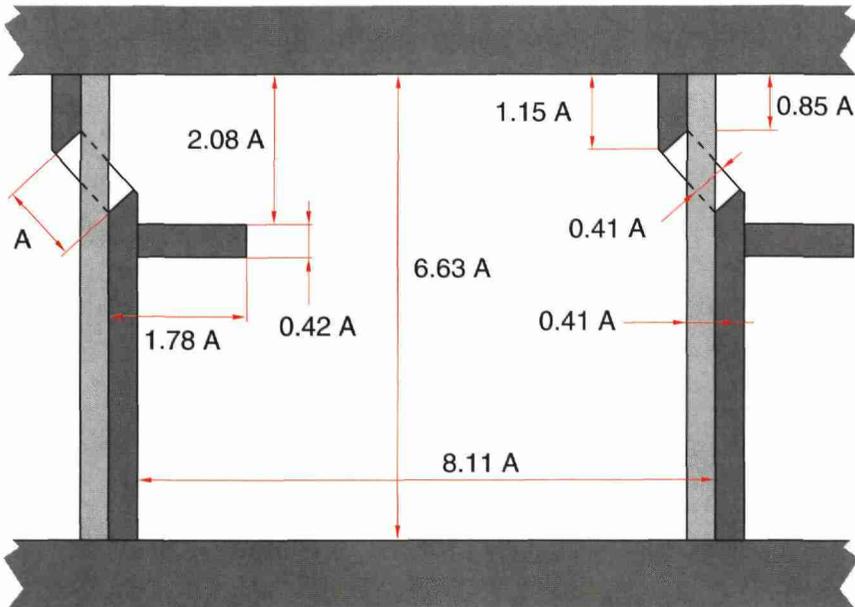
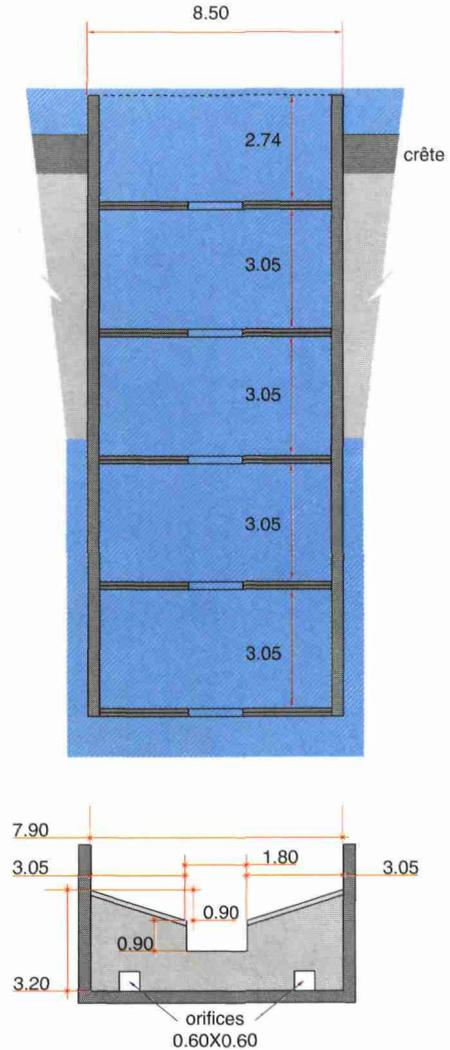


fig. 5.9

Caractéristiques géométriques des passes à fentes verticales simplifiées

## 10.5 Passe à échancrures triangulaires

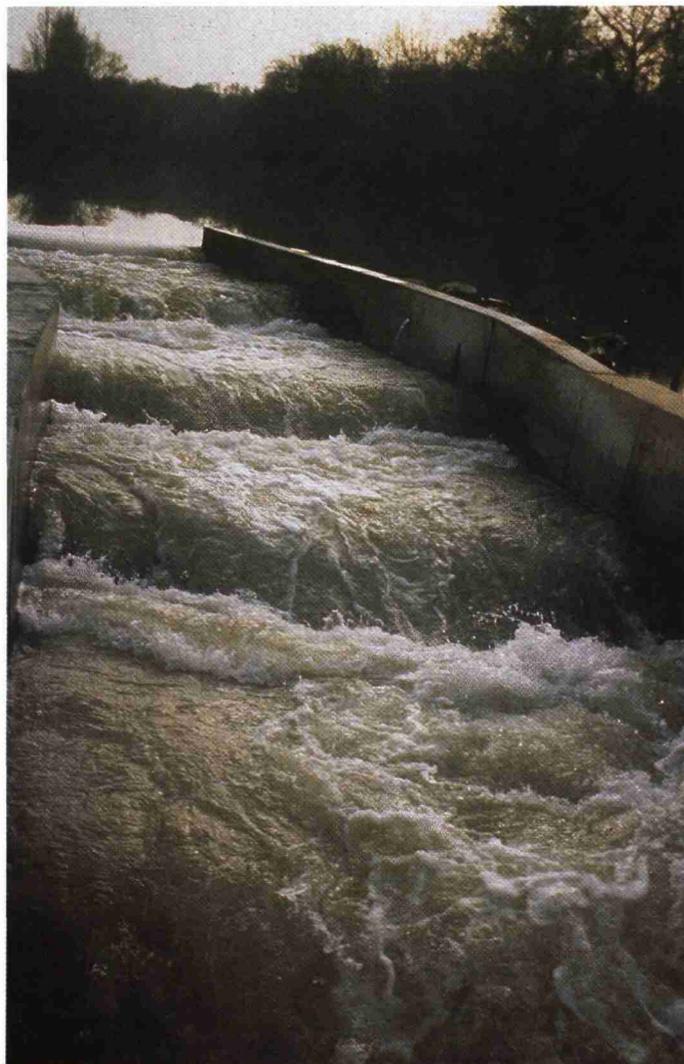
Le concept de passes à bassins à seuils triangulaires a été développé pour obtenir des ouvrages susceptibles de fonctionner dans une large gamme de débits et de niveaux amont sans qu'il soit nécessaire d'ajouter un débit d'appoint dans la section aval ou un dispositif régulant le débit à l'amont. En étiage, la passe se comporte comme une passe classique avec un jet plongeant, l'énergie se dissipant dans chaque bassin. En hautes eaux, un jet de surface à forte vitesse se forme dans la partie centrale de la passe tandis que l'écoulement latéral, demeurant à "jet plongeant", reste praticable pour le poisson. La passe triangulaire se comporte comme une passe à bassins successifs en basses eaux et un chenal rugueux en hautes eaux. Il ne peut donc être question de raisonner en terme de puissance dissipée volumique maximale au niveau d'un bassin. Ce système de passe triangulaire a été développé sur la côte Ouest des USA [4]. On donne sur la figure 5.10 les caractéristiques de la passe du barrage de Town sur la rivière Yakima. La pente d'un tel ouvrage est voisine de 10% et il peut transiter un débit voisin de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Caractéristiques géométriques des passes à seuils triangulaires (d'après BATES, 1990 [4])

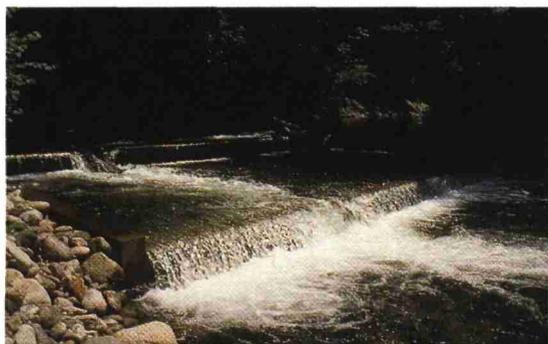
fig. 5.10

Des essais récents sur modèle ont été effectués en France à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse et ont donné lieu à quelques réalisations (passe d'Onard sur l'Adour). Les critères de dimensionnement de ce type de dispositif de franchissement n'ont pas encore été développés à l'heure actuelle, principalement du fait de la difficulté à décrire de façon simple les conditions d'écoulement dans l'ouvrage.



Passe à seuils triangulaires sur l'Adour à Onard (Landes)

# 11 LES PRÉBARRAGES



Prébarrages de Sinsat sur l'Ariège

Les prébarrages (Fig. 5.11) constituent souvent une solution élégante pour résoudre le problème de franchissement sur les obstacles de faible hauteur. Ils sont formés de plusieurs murs ou seuils créant à l'aval de l'obstacle des grands bassins qui fractionnent la chute à franchir. Ces prébarrages sont généralement installés à proximité de l'une des deux rives pour en faciliter l'entretien. Sur les petits cours d'eau, ils peuvent être implantés sans inconvénient sur toute la largeur de l'obstacle.

L'intérêt des prébarrages vient de leur attractivité : une forte proportion du débit du cours d'eau est susceptible de transiter dans le dispositif. Cette attractivité se fait généralement au détriment du "confort" du poisson : si, dans les passes à bassins, la chute adoptée pour les salmonidés est de l'ordre de 30 cm, on choisira généralement des valeurs sensiblement plus élevées pour les prébarrages afin de limiter le nombre de bassins.

Lors du dimensionnement des prébarrages, il convient :

- d'assurer, quel que soit le débit dans le cours d'eau, une charge suffisante sur les murs pour permettre le passage du poisson. On concentrera généralement le débit d'étiage dans une échancrure en ménageant une charge de l'ordre de 0.20 à 0.30 m ;
- de maintenir les chutes d'un bassin à l'autre à peu près constantes lorsque le niveau d'eau amont s'élève. Lorsque le prébarrage est installé sur l'une des rives, l'ouvrage absorbe un débit croissant de l'amont vers l'aval. On tiendra compte de ce point pour déterminer les cotes des murs ainsi que les longueurs déversantes qui seront dimensionnées en fonction des apports intermédiaires dans les bassins ;

- de donner aux murs formant les prébarrages un profil tel que les poissons puissent passer d'un bassin à l'autre sans difficulté. Les murs, pour des questions de stabilité et de solidité, seront généralement d'une épaisseur de l'ordre de 0.20 m à 0.30 m, voire plus. Si on leur donne, pour des questions de simplicité, un profil rectangulaire, ils se comporteront en déversoirs épais et seront difficilement franchissables par le poisson. Il conviendra de les chanfreiner ou de les profiler pour faciliter le passage du poisson. Il faudra faire de même sur tous les murs susceptibles d'être franchis par les poissons. On prètera une attention particulière à l'échancrure amont que l'on pratique généralement dans le barrage existant. Elle constituera généralement un déversoir beaucoup plus épais que les autres et pourra poser des problèmes particuliers de franchissement. C'est pourquoi on est quelquefois amené à réduire la chute amont à une trentaine de cm. A l'inverse, on peut quelquefois augmenter sans inconvénient la chute aval, surtout si la migration s'effectue de façon privilégiée en période d'eaux moyennes ou fortes : le plan d'eau aval remonte généralement plus rapidement que le plan d'eau à l'amont de l'ouvrage et a tendance à noyer rapidement la chute aval ;
- de veiller à la stabilité de l'ouvrage dans le temps et de se prémunir des phénomènes d'érosion, soit en bétonnant les radiers entre bassins, soit en prévoyant des murs parafoilles d'une profondeur suffisante ;
- de donner aux bassins une profondeur suffisante. On donnera dans la mesure du possible une profondeur minimale égale à deux fois la chute.

Comme pour les passes à bassins successifs, le volume minimal à donner aux bassins est fonction des débits et des chutes. Le débit et, partant, la puissance dissipée volumique dans les bassins, augmentent généralement très rapidement lorsque le niveau amont s'élève.

Le poisson n'ayant à franchir que quelques bassins, on pourra adopter des limites sur les puissances dissipées volumiques supérieures à celles adoptées pour les passes à bassins successifs : on calera le prébarrage à des valeurs voisines de 50 watts/m<sup>3</sup> en étiage et on pourra adopter une valeur proche de 500 watts/m<sup>3</sup> pour la limite supérieure de fonctionnement des grands prébarrages de plusieurs dizaines de m<sup>3</sup>.

On a porté sur la figure 5.11 quelques configurations de prébarrages.

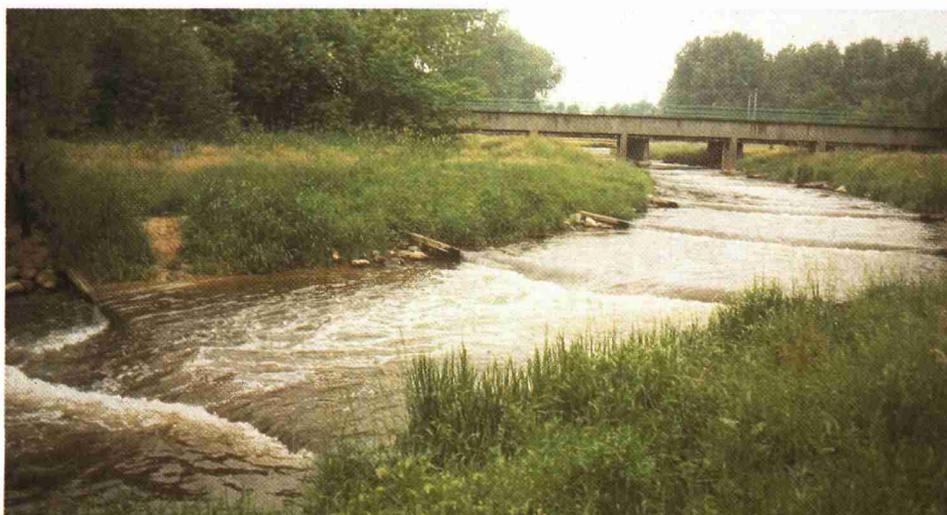


# 12 LES RIVIERES ARTIFICIELLES

La rivière artificielle, ou passe rustique, consiste à relier biefs amont et aval par un chenal dans lequel l'énergie est dissipée et les vitesses réduites par la rugosité du fond et celle des parois et par une succession de singularités (blocs, épis, seuils) plus ou moins régulièrement réparties.

Ce type d'ouvrage peut être multi-usages, à condition de respecter lors de sa conception un certain nombre de critères de dimensionnement : il peut constituer à la fois un dispositif de franchissement pour les poissons migrateurs et un parcours d'eau vive pour les canoës, les kayaks ou les rafts.

Il existe actuellement en France, en fonctionnement ou en projet, une dizaine de dispositifs de franchissement assimilables à des rivières artificielles (Gave de Pau, Adour, Yonne, Allier...) et il est à prévoir dans les prochaines années un recours un peu plus fréquent à ce type de dispositif de franchissement très écologique. Leur généralisation se heurtera cependant à la faiblesse de leur pente (de l'ordre de quelques pour cent), se traduisant par des longueurs importantes, et à leur impossibilité de s'adapter à des variations du niveau amont notables sans dispositifs spéciaux (vanne, clapet...). Ces dispositifs de régulation peuvent induire localement des chutes ou des mises en vitesse

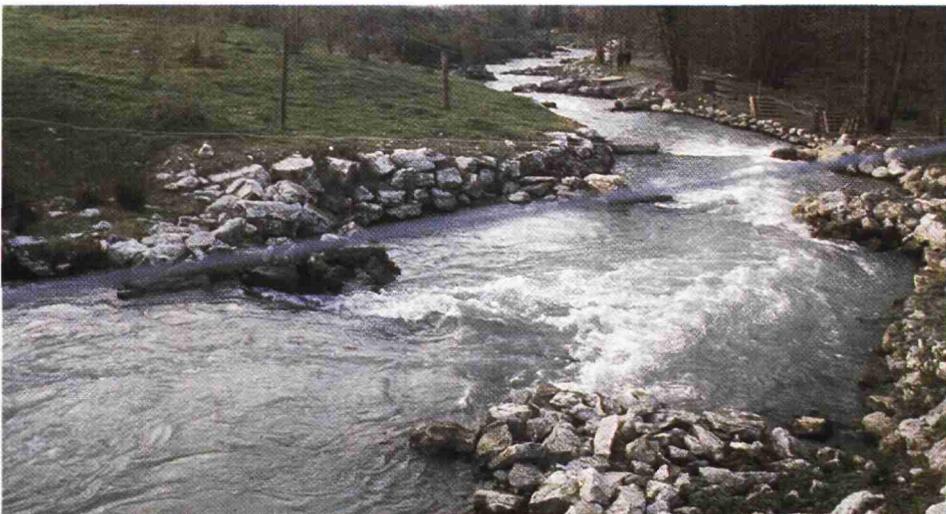


Rivière artificielle à seuils triangulaires sur le Roer (Pays-Bas)

infranchissables par le poisson : il conviendra alors d'installer une passe à poissons classique court-circuitant le dispositif de régulation pour permettre au migrateur de sortir de l'ouvrage quelles que soient les conditions du niveau amont.

Comme pour toute passe, il convient de positionner l'entrée (entrée pour le poisson, donc partie aval) de la rivière artificielle le plus à l'amont possible, dans la zone de blocage des migrateurs. Compte tenu de la faiblesse de la pente, il peut s'avérer quelquefois difficile d'implanter l'entrée juste au pied de l'obstacle, celle-ci devant être reportée plus en aval ; ceci peut limiter leur efficacité et par conséquent leur intérêt, sur les grands cours d'eau. Par contre, on peut remédier à cet inconvénient sur les cours d'eau d'importance modeste en faisant transiter dans l'ouvrage une fraction notable du débit total du cours d'eau.

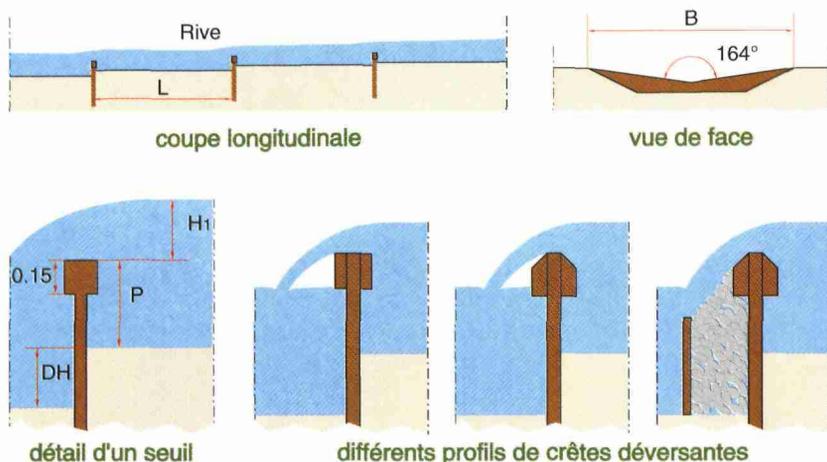
Vitesses, chutes et turbulences dans l'ouvrage, comme pour tout dispositif de franchissement, doivent être adaptées aux capacités de nage et aux comportements des espèces migratrices présentes dans le cours d'eau.



Rivière artificielle de Biron sur le Gave de Pau (Pyrénées-Atlantiques)

On peut distinguer deux types de rivières artificielles :

- celles où la dissipation d'énergie est concentrée au niveau de chutes engendrées par des seuils régulièrement espacés. Ces seuils créent une succession de bassins d'une longueur telle que toute l'énergie se dissipe avant la chute suivante,
- celles où la dissipation d'énergie est moins localisée et s'effectue plus ou moins régulièrement tout au long du dispositif par rugosité et pertes de charges singulières (épis, blocs...).



Débit ( $m^3/s$ ) $Q$ ( $9.8 H_1^{2.5}$ )	Chute DH ( $0.475 H_1$ )	Dimensions (m) L B ( $14.2 H_1$ ) ( $18.8 H_1$ )		P (m) ( $0.76 H_1$ )	Charge $H_1$ (m)
1.14	0.20	6	8	0.32	0.42
2	0.25	7.5	10	0.40	0.53
3.15	0.30	9	12	0.48	0.63
5.51	0.375	11.25	15	0.60	0.79

fig. 5.12

Rivière artificielle à seuils triangulaires utilisée aux Pays-Bas  
(d'après BOITEN, 1990 [11])

Si le premier type de dispositif peut être aisément dimensionné par le calcul (comme une passe à bassins classique), il est préférable, pour définir la géométrie du second, de recourir à une modélisation (physique sur maquette ou mathématique), à moins de procéder empiriquement par "essais et erreurs" sur le site, afin d'éviter tout risque de créer des singularités (chutes, ressauts, vitesses localement élevées) difficilement franchissables par le poisson.

Les passes à seuils triangulaires [11] utilisées sur la Meuse et ses affluents aux Pays-Bas, compte tenu de leur faible pente (3.33%) et de leur importance, s'apparentent plus à des rivières artificielles qu'à des passes à bassins classiques (Fig. 5.12).

Les règles de dimensionnement proposées par le concepteur sont issues des échelles de similitude utilisées en hydraulique : à partir de l'optimisation d'une passe à profil triangulaire sur modèle réduit (à pente fixe), une extrapolation a été faite en faisant varier l'échelle de similitude et un certain nombre de passes types sont ainsi proposées pour plusieurs débits de fonctionnement. La limite de cette approche est que la chute entre bassins est une fonction croissante du débit de dimensionnement ; or, d'un point de vue piscicole, la chute devrait être choisie plus en fonction des espèces migratrices que du débit dans l'ouvrage fixé par des considérations liées au site.

Les longueurs des bassins sont égales à  $14 H_1$ ,  $H_1$  étant la charge sur la pointe du triangle ; l'énergie est correctement dissipée sur la longueur de 12 fois la charge de dimensionnement  $H_1$ .

On a donné dans la figure 5.12 les caractéristiques des bassins, pour plusieurs débits de dimensionnement  $Q$ , sachant que la passe fonctionne pour un débit variant de  $0.5 Q$  à  $Q$  (soit une charge amont variant entre  $0.75 H_1$  et  $H_1$ ). La marge de fonctionnement d'un tel ouvrage est très limitée : elle est d'une dizaine de cm pour une passe dimensionnée pour  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  et demeure en deçà de 20 cm pour une passe dimensionnée pour  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Les puissances dissipées volumiques dans l'ouvrage restent inférieures à  $100 \text{ watts}/\text{m}^3$ .

Ce type d'ouvrage convient essentiellement aux obstacles installés sur des cours d'eau à faible pente sur lesquels le niveau amont reste pratiquement constant.

On donne sur la figure 5.13 les caractéristiques d'une rivière artificielle sur l'Adour constituée de bassins de 8 mètres de longueur séparés par des seuils en enrochements à profils triangulaires.

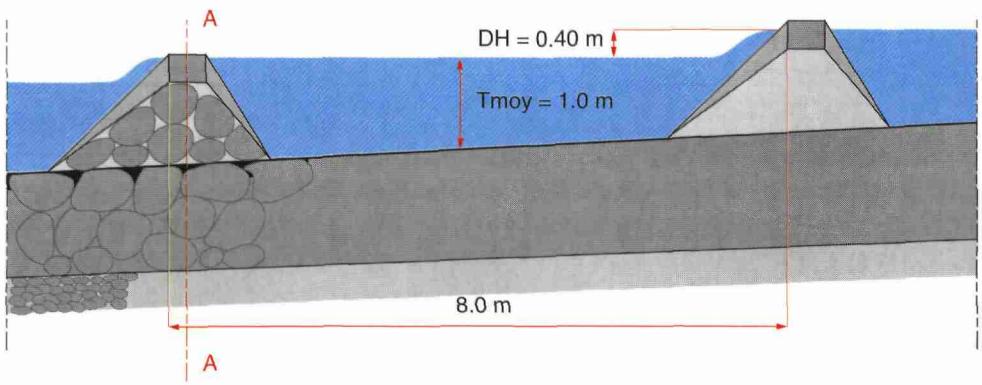
La pente est de 5%, ce qui peut être considéré comme une limite de la pente envisageable pour ce type d'ouvrage. Le débit varie de 900 l/s à près de 3 m<sup>3</sup>/s pour une variation du niveau amont d'une trentaine de centimètres, les puissances dissipées volumiques variant alors de 90 watts/m<sup>3</sup> à 250 watts/m<sup>3</sup>. Les chutes entre bassins sont de 0.40 m. Ce type de passe est avant tout réservé aux salmonidés et aux cyprinidés d'eau vive.

Les rivières artificielles décrites précédemment s'apparentent à des passes à bassins dans la mesure où les chutes sont concentrées au niveau de singularités.

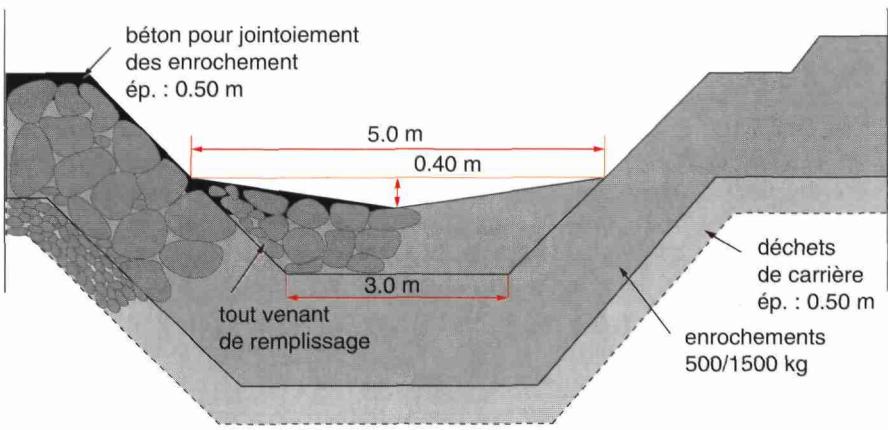
Dans le projet de la rivière artificielle du Lac des Gaves [16], l'énergie est pour partie dissipée localement au niveau de chutes et pour partie par rugosité au niveau du lit et des berges. L'ouvrage est constitué d'une série de biefs de section trapézoïdale (largeur au plafond de 1.20 m à 2.80 m), de 43 m de longueur, de pente 0.3% et d'une profondeur voisine de 0.80 m ; entre chaque tronçon est placé un bassin de dissipation d'énergie (et de repos pour les poissons) de 5 m de longueur au droit duquel est concentrée une chute voisine de 0.30 m. La pente générale de l'ouvrage est d'environ 0.9%, le débit variant de 1.5 m<sup>3</sup>/s dans la partie amont à 4 m<sup>3</sup>/s dans sa partie aval après adjonction d'un débit complémentaire. Les matériaux constituant la rivière sont choisis parmi la fraction granulométrique la plus grossière des alluvions du Gave. Les vitesses d'écoulement dans la rivière augmentent cependant très rapidement avec le débit, ce qui a rendu indispensable l'installation d'un clapet en tête de l'ouvrage pour maintenir le débit relativement constant. Une petite passe à bassins successifs à orifices noyés permet au poisson de franchir la singularité créée par la fermeture partielle de ce clapet en hautes eaux.

Un type voisin de rivière artificielle, dont la pente est généralement comprise entre 1% et 1.5%, est utilisé au Danemark [70]. L'aménagement réalisé à Holstebro, d'une longueur de 655 m, permet de franchir une chute de 5 mètres. La section est trapézoïdale (plafond 2.5 m), les fonds et les parois sont recouverts de blocs de 15 à 20 cm ; sur le fond et le long des bords sont disposés à intervalles réguliers (tous les 2 m) des

blocs de dimensions plus importantes (50 cm) qui ont pour objet d'augmenter la rugosité du lit tout en créant des zones de repos bien individualisées pour le poisson. Le débit est régulé suivant la saison entre  $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  en période de migration. L'ouvrage dispose de 6 bassins de repos régulièrement espacés. Dans ce dispositif, la majeure partie de l'énergie est dissipée par rugosité sur le fond et les parois. ■



Coupe A - A



Rivière artificielle à seuils en enrochements

fig. 5.12

---

## LES PASSES A RALENTISSEURS

# 1

### PRINCIPE

Les premières passes à ralentisseurs furent mises au point en Belgique par DENIL pour permettre aux saumons de franchir le barrage d'Angleur sur l'Ourthe [25]. Le principe consiste à disposer, dans un canal rectiligne à pente relativement forte et de section rectangulaire, des déflecteurs sur le fond et/ou les parois, destinés à réduire les vitesses moyennes de l'écoulement.

Ces déflecteurs, de formes plus ou moins complexes, donnent naissance à des courants secondaires hélicoïdaux qui assurent, par un transfert intense de quantité de mouvement, une forte dissipation d'énergie au sein de l'écoulement.

Les expériences sur modèle réduit initiées par DENIL [26] ont été reprises et complétées par la suite dans le but de simplifier la forme des ralentisseurs tout en conservant une efficacité hydraulique suffisante. On citera MCLEOD et NEMENYI [75] aux USA, WHITE et NEMENYI [121] en Grande-Bretagne, et plus récemment LARINIER [55 ; 56], LARINIER et MIRALLES [61] en France, LONNEBJERG [69] au Danemark, RAJARATNAM et KATOPODIS [87, 90], RAJARATNAM et al. [93, 91] au Canada. ■

# 2

## CARACTERISTIQUES ET FONCTIONNEMENT

Il existe de nombreux types de ralentisseurs qui ont fait l'objet d'études sur modèle réduit mais qui n'ont pas fait l'objet d'une validation "biologique". On ne reprendra dans la suite que ceux qui, testés *in situ*, ont démontré leur efficacité et sur lesquels il existe un retour d'expérience suffisant.

Les caractéristiques géométriques des ralentisseurs sont données sous forme adimensionnelle : toutes les dimensions sont rapportées à une longueur caractéristique (largeur du canal ou hauteur du ralentisseur).

*Il est impératif de ne pas s'écarter des caractéristiques géométriques données car toute modification - que ce soit dans la forme ou l'écartement des ralentisseurs - peut se traduire par une altération notable de la structure de l'écoulement qui peut s'avérer préjudiciable à l'efficacité du dispositif.*

On peut définir pour toute passe à ralentisseurs une plage de fonctionnement "hydraulique" et une plage de fonctionnement "biologique" :

- plage de fonctionnement "hydraulique" : un débit minimum est nécessaire pour que se forment les courants hélicoïdaux. En dessous de cette valeur, la passe se comporte comme une mini-passe à bassins successifs. Au-delà d'un certain débit, fonction de la pente, du type et de la dimension des ralentisseurs, on note l'apparition d'ondes qui balaient la passe de l'amont vers l'aval, les courants hélicoïdaux ne se forment plus qu'épisodiquement ; l'écoulement passe progressivement en régime torrentiel, les ralentisseurs ne remplissant plus leur rôle,
- plage de fonctionnement "biologique" : les passes à ralentisseurs sont adaptées à certaines espèces et certaines tailles de migrateurs. Le domaine d'utilisation des ralentisseurs (pente, dimensions des ralentisseurs, débits dans la passe) pour une espèce migratrice donnée ne peut s'acquérir que par le retour d'expérience de passes testées *in situ*.

Si la plage de fonctionnement "hydraulique" d'une passe peut être déterminée très rapidement par une étude sur modèle réduit hydraulique, la plage de fonctionnement "biologique" quant à elle est beaucoup plus longue à apprécier et ne peut être approchée sur les ouvrages existants que par un contrôle rigoureux, c'est-à-dire en notant pour chaque relevé de piège les conditions hydrauliques (en particulier la charge amont) et thermiques ayant prévalu lors de la période de piégeage.

On dispose d'une certaine liberté dans le choix de la dimension des ralentisseurs en faisant varier par homothétie la taille du canal et des ralentisseurs. Il convient de noter cependant les points importants suivants :

- une augmentation de la dimension des ralentisseurs, la pente restant constante, se traduit par une augmentation de la dimension des courants hélicoïdaux et parallèlement par une augmentation des vitesses. Si la taille de ces courants devient importante comparée à celle des migrateurs, cela peut nuire à l'efficacité de la passe : le poisson aura tendance à s'orienter par rapport aux composantes locales de la vitesse et à se heurter aux ralentisseurs,
- une réduction de la taille des ralentisseurs ne peut se faire sans inconvénients, la plage de fonctionnement "hydraulique" des ralentisseurs, exprimée en variation acceptable de la charge amont, étant, elle aussi, proportionnelle à leurs dimensions.

*On aura généralement intérêt à adopter un rapport longueur du poisson/dimension caractéristique des ralentisseurs (par exemple l'espacement des ralentisseurs) le plus grand possible tout en veillant à rester dans la plage de fonctionnement "hydraulique" des ralentisseurs choisis.*

Une passe à ralentisseurs ne présente pas de zone de repos : le poisson doit la franchir d'une seule traite. Aussi, lorsque la dénivellation devient trop importante, le migrateur doit fournir un effort intense pendant une durée qui peut rapidement dépasser ses capacités d'endurance : il convient alors de prévoir un ou plusieurs bassins de repos.

Pour les grands salmonidés migrateurs, on dispose généralement un bassin de repos tous les 1.8 m à 2.40 m de chute et on limite les longueurs de volée à 10-12 mètres. Il est certain que dans le cas où l'on ne prendrait en considération que les poissons de grande taille ( $> 60$  cm), des longueurs de volée sensiblement plus importantes pourraient être adoptées ; mais on éliminerait ainsi les individus de taille moyenne qui ne possèdent pas l'endurance suffisante pour soutenir l'effort nécessaire au franchissement de la volée.

Pour les poissons de plus petite taille, comme la truite, les bassins de repos seront disposés tous les 1.20 m à 1.50 m de chute et les longueurs de volée ne dépasseront pas 6-8 mètres.

Les volées des passes à ralentisseurs doivent être rectilignes : tout changement de direction ne peut se faire qu'au niveau d'un bassin de repos ; celui-ci doit posséder une longueur suffisante pour que le jet issu de la volée amont ne vienne pas heurter trop violemment les parois (en particulier dans le cas d'un changement de direction à  $180^\circ$ ) ou perturber l'amorçage de l'écoulement (c'est-à-dire la formation des courants en hélice) dans la volée aval. Une longueur de bassin de repos de 3 mètres est généralement acceptable.

*De façon générale, il convient d'éviter en amont du premier ralentisseur toute contraction ou mise en vitesse susceptible de créer un jet et de retarder "l'amorçage" de la passe. Notamment, le radier en amont du premier ralentisseur sera toujours situé bien au-dessous de la crête de déversement de ce ralentisseur pour que la section de contrôle se situe au niveau du ralentisseur et non en amont sur le radier.*

La partie aval de la passe doit être suffisamment immergée pour éviter toute accélération locale et toute chute préjudiciable au passage du poisson : pour éviter tout risque de blessure, celui-ci doit pénétrer dans une passe à ralentisseurs sans avoir à sauter. Dans les conditions d'étiage, le ralentisseur aval doit être immergé d'une valeur au moins égale à la charge sur le ralentisseur amont. ■

# 3

## INTERET ET LIMITE DES PASSES A RALENTISSEURS

L'écoulement dans les passes à ralentisseurs est caractérisé par des vitesses et une aération importantes. Ce type de passe est à réserver aux poissons d'eau courante de grande taille comme les salmonidés grands migrateurs, la lamproie marine (qui utilise avec une très grande facilité ce type de dispositif), les grosses truites et certaines espèces comme le barbeau. En pratique, on réservera les passes à ralentisseurs pour les poissons d'une taille supérieure à une trentaine de centimètres. Elles peuvent être utilisées pour des espèces de taille inférieure comme la truite à condition de réduire sensiblement la dimension des ralentisseurs.

L'utilisation de ces passes se heurte, pour les individus de petite taille, à l'insuffisance de leur endurance. En effet, l'effort qui leur est demandé dans les passes à ralentisseurs de dimensions classiques se situe dans le domaine de leur vitesse de sprint qu'ils ne peuvent soutenir que quelques secondes ; en conséquence, la longueur des volées doit être limitée à quelques mètres, ce qui ne justifie plus alors le recours à ce type de passe. Il est cependant parfaitement possible, en adoptant des ralentisseurs de plus petites dimensions, d'adapter l'hydrodynamique de la passe (vitesses, dimension des courants hélicoïdaux) aux individus de petite taille, en faisant en sorte de la situer dans le domaine des vitesses soutenues que le poisson peut maintenir pendant quelques dizaines de secondes. Mais on aboutit alors à des passes de très faibles dimensions avec tous les inconvénients qui en résultent : débits de fonctionnement très limités (quelques dizaines de litres/seconde), passes peu attractives, sujettes au colmatage et ne tolérant plus aucune variation notable du niveau amont.

Des passages de poissons de petite taille ont cependant été observés dans des passes à ralentisseurs. Certains ont eu lieu lorsque la passe était notablement sous-alimentée (débit inférieur à la valeur d'amorçage des courants hélicoïdaux), la passe fonctionnant alors comme une mini-passe à bassins [18] et les poissons pouvant se reposer dans l'espace inter-ralentisseurs. Dans les autres cas, lorsque la passe est correctement alimentée, il est possible que certains poissons utilisent des zones suffisamment calmes entre les ralentisseurs et parviennent à franchir la passe de proche en proche [106]. ■

# 4 LES DIFFERENTS TYPES DE PASSES A RALENTISSEURS

## 4.1 Généralités

On distingue trois types de passes à ralentisseurs :

- les passes dans lesquelles les ralentisseurs sont disposés uniquement sur le fond d'un canal horizontal ; on peut alors adopter des passes de grande largeur en reproduisant plusieurs fois le motif "unitaire" du ralentisseur. Ces passes à ralentisseurs de fond peuvent absorber des débits très variables, mais elles ont néanmoins l'inconvénient de ne tolérer qu'une variation modérée du niveau amont, les vitesses augmentant rapidement avec la charge sur le ralentisseur amont ;
- les passes dans lesquelles les ralentisseurs sont situés à la fois sur le fond et sur les côtés. Elles ont l'avantage de tolérer des variations de niveaux plus importantes mais, comme la taille du migrateur limite généralement la dimension des ralentisseurs, et par conséquent leur largeur, leur débit est limité et ne peut excéder quelques centaines de l/s ;
- les passes dans lesquelles les ralentisseurs sont situés uniquement sur les côtés [61]. Elles ont l'avantage de tolérer des variations de niveaux importantes et sont susceptibles de transiter des débits notables. Elles présentent par ailleurs une très bonne efficacité mais possèdent l'inconvénient majeur d'être très vulnérables au colmatage par les branches. C'est la raison pour laquelle elles ont été très peu utilisées.

Truite remontant une passe à ralentisseurs latéraux



## 4.2 Passes à ralentisseurs plans



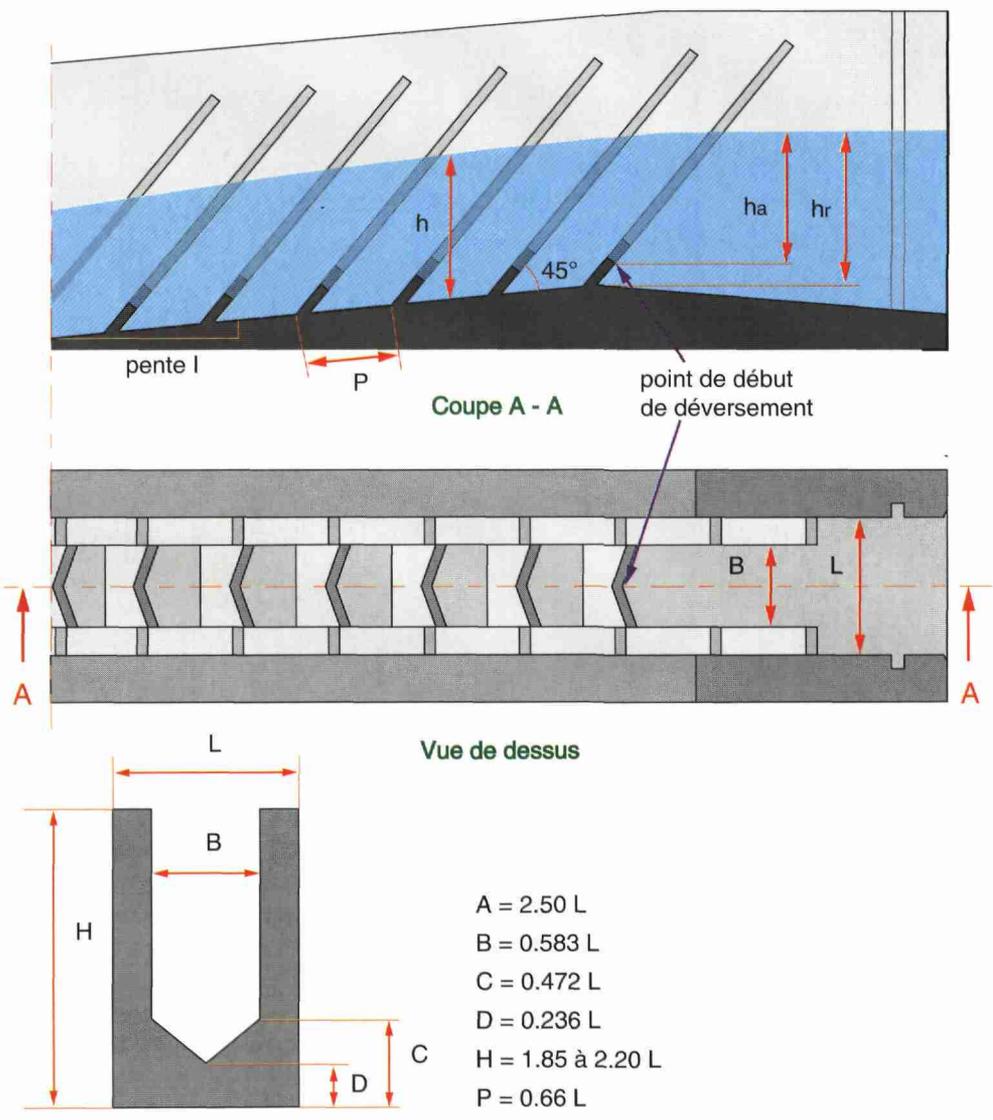
Écoulement sur un modèle réduit dans une passe à ralentisseurs plans

C'est le type de passe à ralentisseurs le plus couramment rencontré. Son principal intérêt provient de la simplicité de construction des ralentisseurs, de forme plane, et disposés à  $45^\circ$  par rapport au radier du canal. Sa largeur peut varier de 0.60 m à 1.00 m environ, la pente de 12% à 20%.

Les ralentisseurs sont généralement en tôle (8 mm à 10 mm d'épaisseur), en bois ou en béton (épaisseur maximale  $L/20$ ,  $L$  étant la largeur du canal).

Elle a été largement utilisée en Europe (France, Grande-Bretagne, Irlande, Suède) pour le saumon atlantique et la truite de mer. Sur la côte Est des USA, elle est utilisée pour le saumon atlantique et le gaspareau.

Les caractéristiques géométriques sont données sur la figure 6.1.



Paramètres caractéristiques de la passe à ralentisseurs plans

fig. 6.1

La figure 6.2 donne sous forme adimensionnelle pour plusieurs pentes ( $I$ ) la relation entre :

le débit  $Q^* = \frac{Q}{\sqrt{gL^{2.5}}}$ , la charge amont ( $h_a/L$ ),

le tirant d'eau moyen ( $h/L$ ), la vitesse débitante  $V^* = \frac{V}{\sqrt{gL}}$ .

La charge amont ( $h_a$ ) est la différence entre la cote en altitude de la surface libre en amont et celle de la pointe du ralentisseur amont. Il convient de ne pas confondre  $h_a$  avec  $h_r$ , la charge comptée par rapport à la cote du radier au niveau de la base du ralentisseur amont. On a la relation suivante :

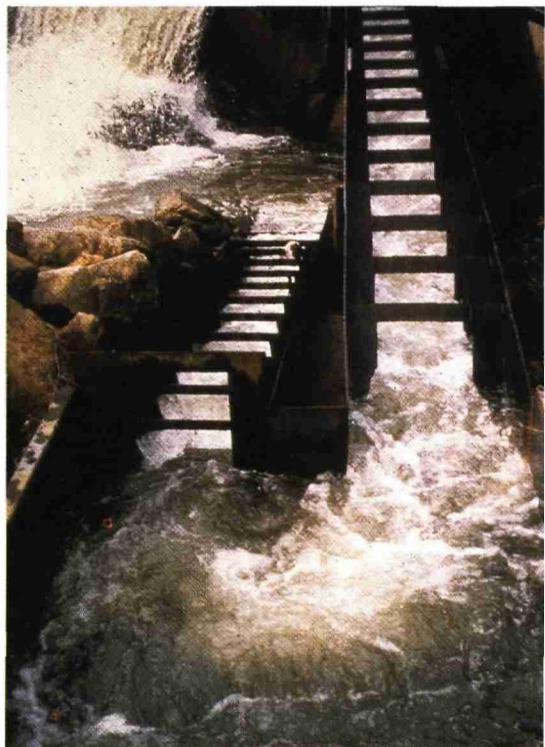
$$h_r = h_a + 0.236 L \sin(45^\circ + \arctg I)$$

Lorsque la pente varie de 10% à 20% ( $I = 0.1$  à  $0.2$ ),  $h_r$  varie de ( $h_a + 0.183L$ ) à ( $h_a + 0.196L$ ).

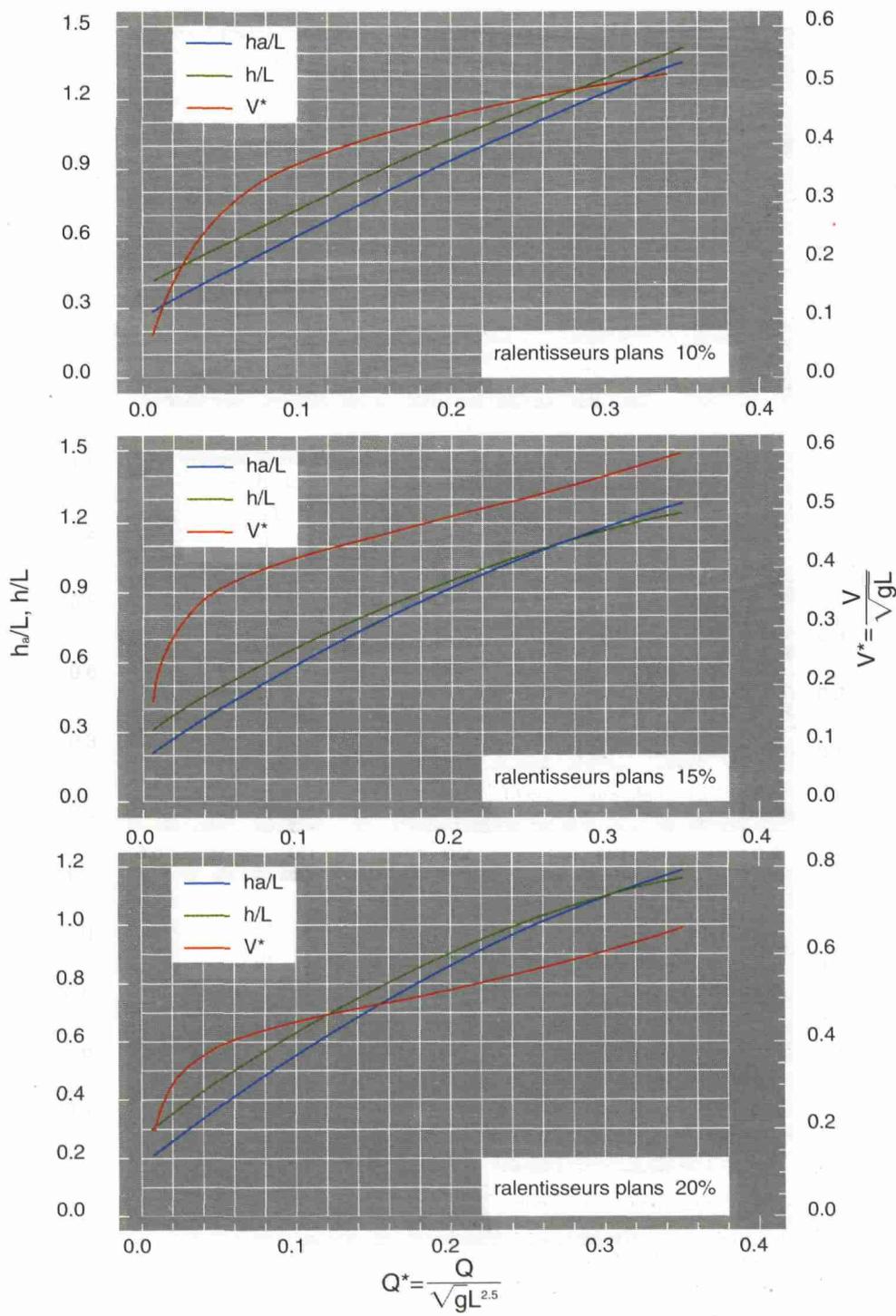
Le tirant d'eau moyen ( $h$ ) est la profondeur d'eau moyenne dans la passe comptée à partir du radier.

*Pour les grands salmonidés migrateurs, on adopte généralement comme pente maximale 20% et pour  $L$ , largeur interne de la passe, des valeurs comprises entre 0.80 m et 1 m.*

Sur quelques aménagements, des valeurs plus importantes de  $L$  ont été adoptées (1.20 m et 1.30 m). On n'a cependant pas intérêt à choisir des dimensions de ralentisseurs aussi importantes car cela oblige parallèlement à réduire la pente (de façon à maintenir des vitesses et des niveaux d'aération et de turbulence acceptables) et cela pénalise les individus les plus petits (augmentation de la dimension des courants hélicoïdaux et de la longueur des volées).



Passé à ralentisseurs plans à deux volées sur la Dore (Puy-de-Dôme)



Relation entre le débit, la charge amont, le tirant d'eau moyen et la vitesse débitante pour la passe à ralentisseurs plans



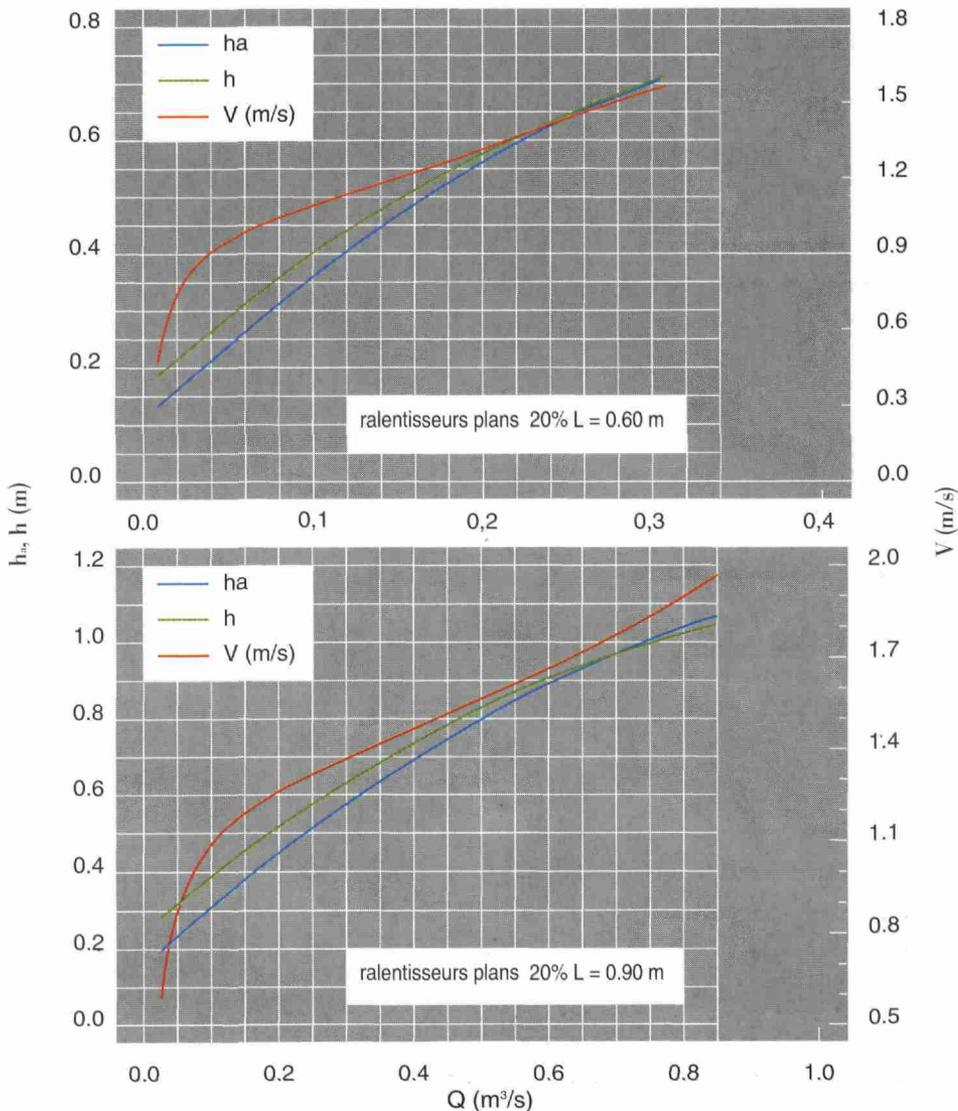
Passé à ralentisseurs plans à la centrale de Laihac sur le Gave d'Ossau (Pyrénées-Atlantiques)

*Pour les passes spécifiquement conçues pour la truite, on adoptera à la fois des dimensions de ralentisseurs et des longueurs de volées plus réduites. On suggère des valeurs de  $L$  comprises entre 0.50 m et 0.70 m, avec une pente maximale de 20%.*

La limite inférieure de fonctionnement d'une passe à ralentisseurs plans est caractérisée par une charge minimale sur le ralentisseur amont ( $h_a$ ), ou un tirant d'eau minimum ( $h$ ) au-dessus des ralentisseurs, permettant à la fois "l'amorçage de la passe" (apparition des courants en hélice) et la nage du poisson. On peut adopter comme limite  $h/L = 0.5$ , ce qui correspond à une profondeur d'eau minimale au-dessus de la pointe du ralentisseur disponible pour le passage du poisson de 0.33 L.

La limite supérieure de fonctionnement de la passe est beaucoup plus délicate à définir dans la mesure où elle est liée aux capacités de nage du poisson. On peut adopter raisonnablement une valeur de  $h/L$  de 1.0 à 1.1.

On a porté sous forme dimensionnelle sur la figure 6.3 la relation entre le débit ( $Q$ ), la charge amont ( $h_a$ ), le tirant d'eau moyen ( $h$ ), et la vitesse débitante ( $V$ ) pour une passe à saumon de 0.90 m de largeur et une passe à truite de 0.60 m de largeur et de pente 20%.



Relation entre le débit, la charge amont, le tirant d'eau moyen et la vitesse débitante pour la passe à ralentisseurs plans

fig. 6.2

### 4.3 Passes à ralentisseurs de type Fatou

La passe Fatou est directement inspirée du modèle original mis au point par DENIL [25]. Elle est très efficace d'un point de vue hydraulique. Elle présente cependant deux inconvénients majeurs : sa difficulté de construction liée à la forme des ralentisseurs et sa sensibilité au colmatage par les branches et autres corps dérivants. En outre, l'efficacité hydraulique des ralentisseurs ne laisse subsister qu'une énergie cinétique limitée se traduisant par un jet peu marqué à l'entrée de la passe, d'où une attractivité modérée. Dans la mesure où son domaine d'utilisation est très voisin de la passe à ralentisseurs plans, on lui préfère généralement cette dernière.

Les caractéristiques géométriques sont données sur la figure 6.4.



Passes à ralentisseurs de type Fatou sur l'Ellé (Morbihan)

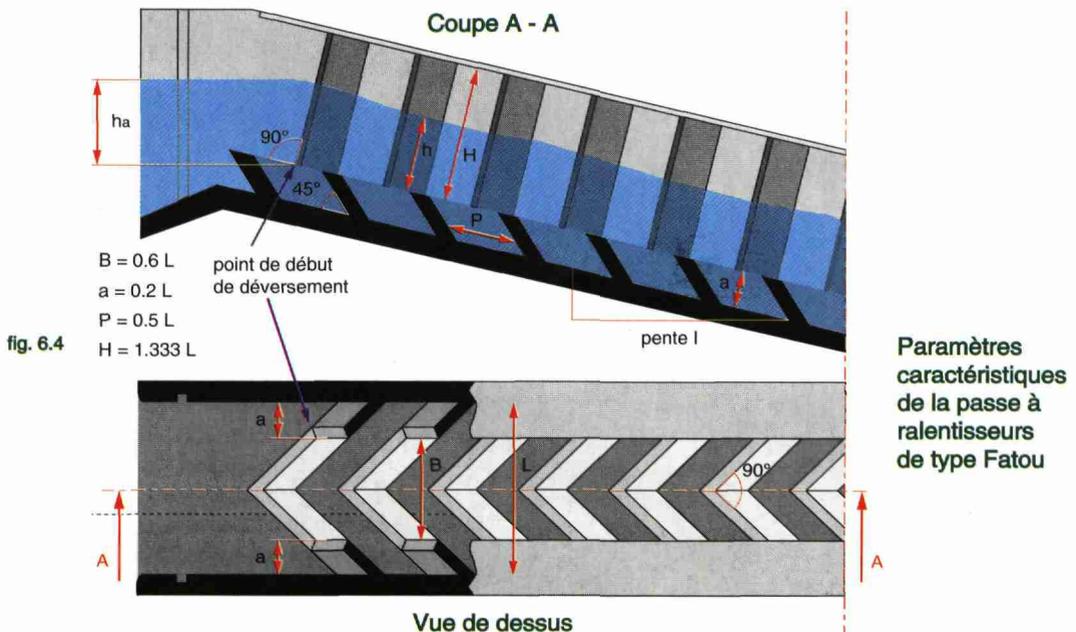


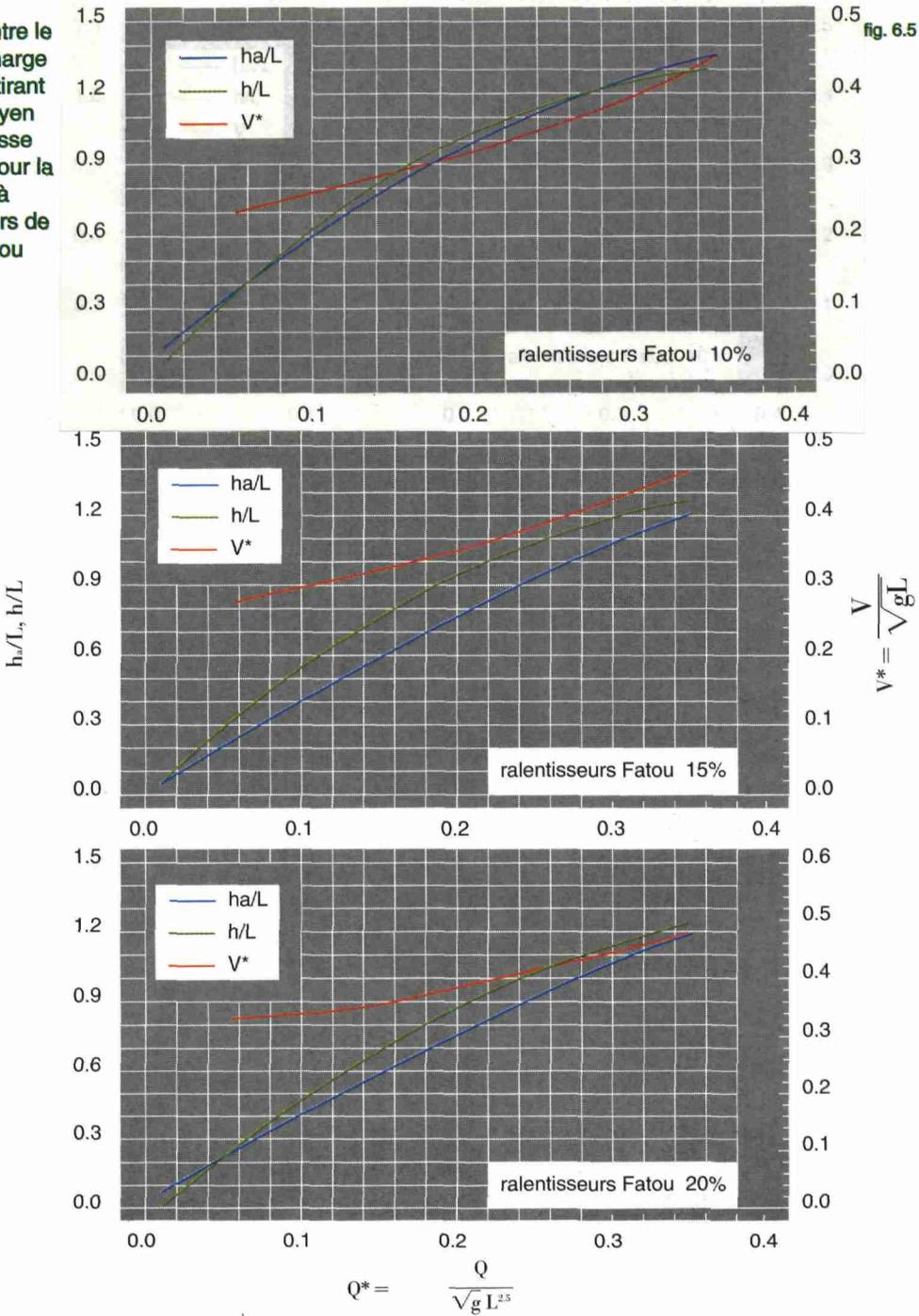
fig. 6.4

La figure 6.5 donne sous forme adimensionnelle pour plusieurs pentes (I) la relation entre :

le débit  $Q^* = \frac{Q}{\sqrt{g}L^{2.5}}$ , la charge amont ( $h_a/L$ ),

Relation entre le débit, la charge amont, le tirant d'eau moyen et la vitesse débitante pour la passe à ralentisseurs de type Fatou

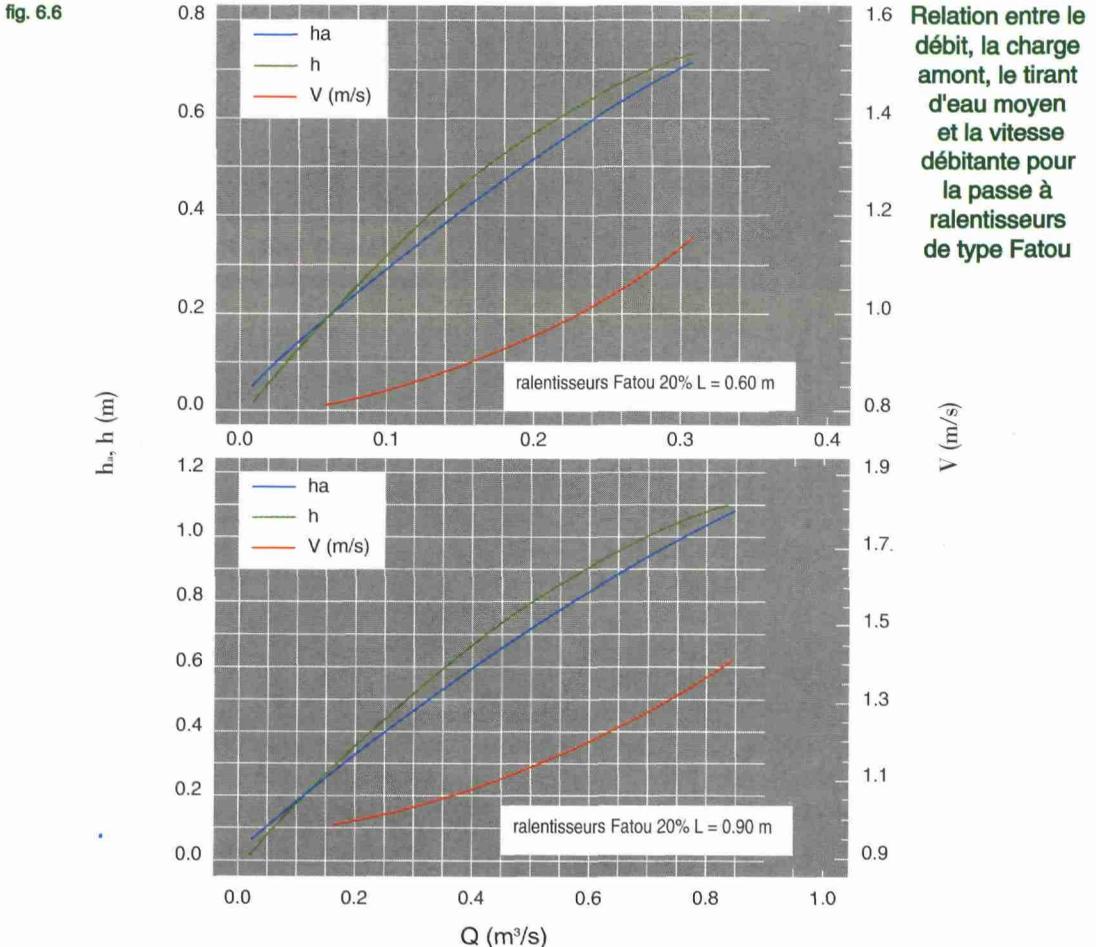
fig. 6.5



le tirant d'eau moyen ( $h/L$ ), et la vitesse débitante  $V^* = \frac{V}{\sqrt{gL}}$ .

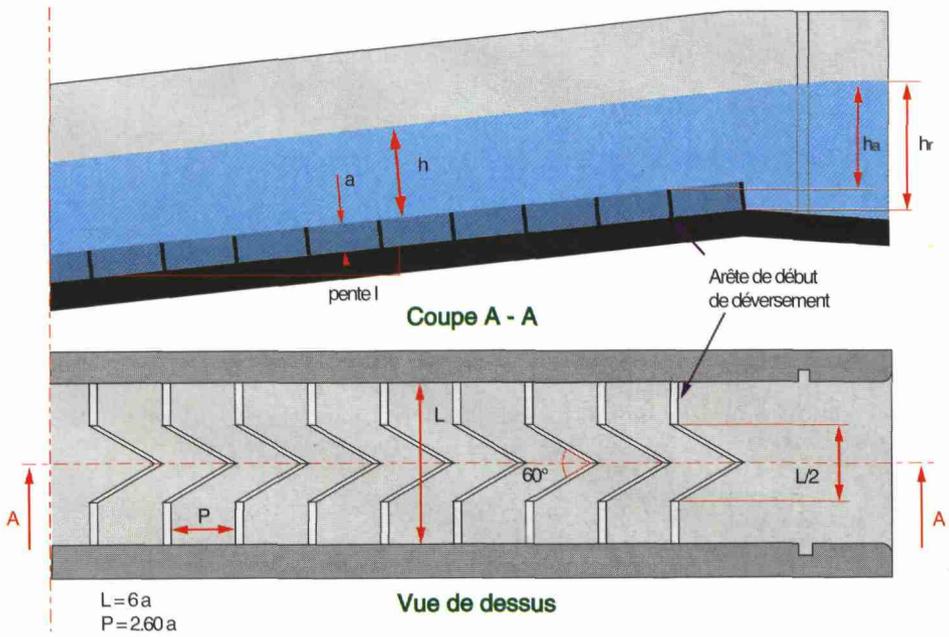
Les conditions d'utilisation sont identiques à celles de la passe à ralentisseurs plans.

La plage de fonctionnement est caractérisée par une valeur minimale de  $h/L$  voisine de 0.4, pour permettre "l'amorçage" de la passe et la nage du poisson, et une valeur maximale de  $h/L$  voisine 1.



On a porté sous forme dimensionnelle sur la figure 6.6 la relation entre le débit ( $Q$ ), la charge amont ( $h_a$ ), le tirant d'eau moyen ( $h$ ), et la vitesse débitante ( $V$ ) pour une passe à saumons de 0.90 m de largeur et une passe à truites de 0.60 m de largeur et de pente 20%.

#### 4.4 Passes à ralentisseurs de fond suractifs



Paramètres caractéristiques de la passe à ralentisseurs de fond de type "suractifs"

fig. 6.7

Cette passe ne comporte que des ralentisseurs de fond s'arrêtant à un plan parallèle au radier du canal. Ces ralentisseurs peuvent donc se disposer par bandes longitudinales juxtaposées en nombre indéfini. Il convient, pour stabiliser l'écoulement, de séparer chaque rangée de ralentisseurs par une bande longitudinale de même hauteur. Ce type de ralentisseurs a été mis au point sur modèle [61] en s'inspirant du modèle Riro [26 ; 54] adopté au barrage de Roermond sur la Meuse en Belgique. Elle est principalement utilisée en France. Les ralentisseurs sont en tôle (épaisseur 8 mm à 10 mm) et leur hauteur varie de 0.08 m à 0.20 m. Les caractéristiques géométriques sont données sur la figure 6.7.



Écoulement dans une passe à ralentisseurs suractifs

La figure 6.8 donne sous forme adimensionnelle pour plusieurs pentes (I) la relation entre :

le débit unitaire  $q^* = \frac{q}{\sqrt{2g a^{1.5}}}$ , la charge amont ( $h_a/a$ ),

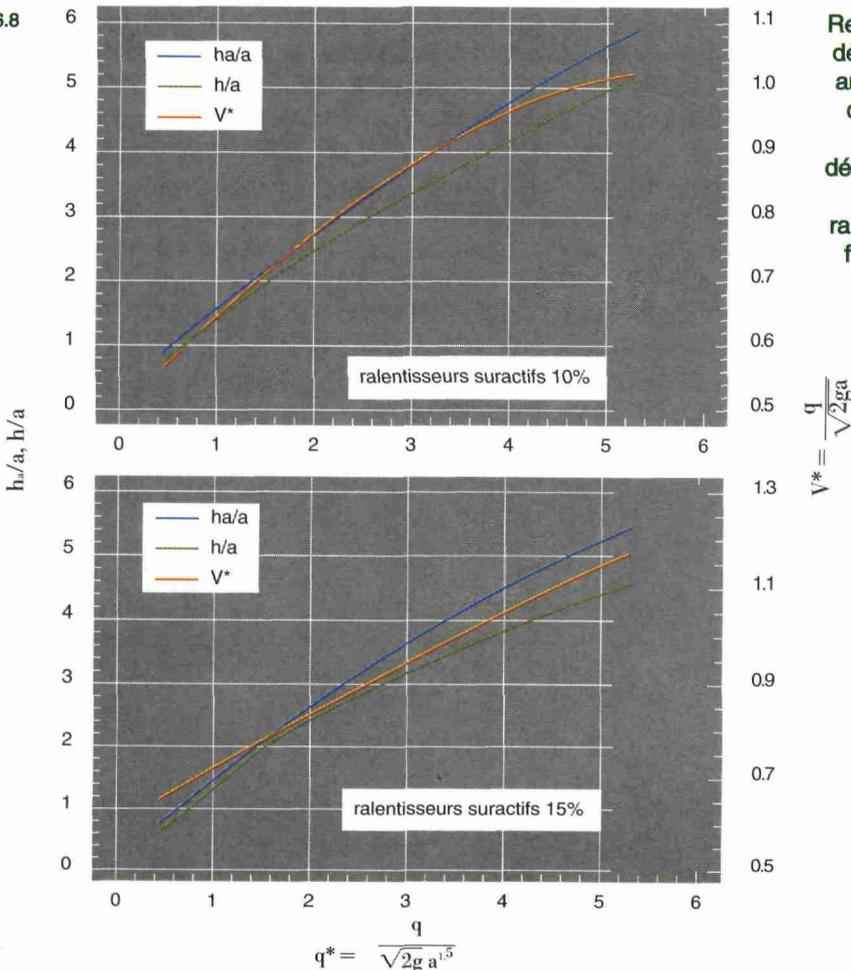
le tirant d'eau moyen ( $h/a$ ), et la vitesse débitante  $V^* = \frac{aq^*}{h}$

a est la hauteur des ralentisseurs exprimée en mètres.

La charge amont ( $h_a$ ) est la différence entre la cote en altitude de la surface libre en amont et celle de l'arête de début de déversement du ralentisseur amont (correspondant à la cote du plan d'eau amont à partir de laquelle la passe commence à être alimentée). La relation entre  $h_a$  et  $h_r$ , la charge comptée par rapport à la cote du radier au niveau de la pointe amont du ralentisseur amont, est la suivante :

$$h_r = h_a + a - 2.6 a I$$

fig. 6.8



Relation entre le débit, la charge amont, le tirant d'eau moyen et la vitesse débitante pour la passe à ralentisseurs de fond de type "suractifs"

$$V^* = \frac{q}{\sqrt{2ga}}$$

$$q^* = \frac{q}{\sqrt{2g a^{1.5}}}$$

Le tirant d'eau moyen ( $h$ ) est la profondeur d'eau moyenne dans la passe au-dessus des ralentisseurs.

La largeur de la passe pouvant être très variable, les abaques permettent de calculer  $q$ , débit par mètre de largeur en fonction de  $h_a$ . Le débit  $Q$  ( $m^3/s$ ) s'écoulant dans une passe comportant sur la largeur un nombre  $N$  de motifs de ralentisseurs de hauteur ( $a$ ) peut être aisément calculé à partir du débit unitaire ( $q$ ) par l'expression suivante :

$$Q = 6 a N q$$

Pour les grands salmonidés migrateurs, on adopte généralement comme hauteur des ralentisseurs ( $a$ ), des valeurs comprises entre 0.10 m et 0.20 m et pour pente maximale 15-16%.

Pour les passes spécifiquement conçues pour la truite, on adoptera à la fois des dimensions de ralentisseurs et des longueurs de volées plus réduites. On suggère des valeurs de  $a$  comprises entre 0.08 m et 0.10 m, avec une pente maximale de 15-16%.

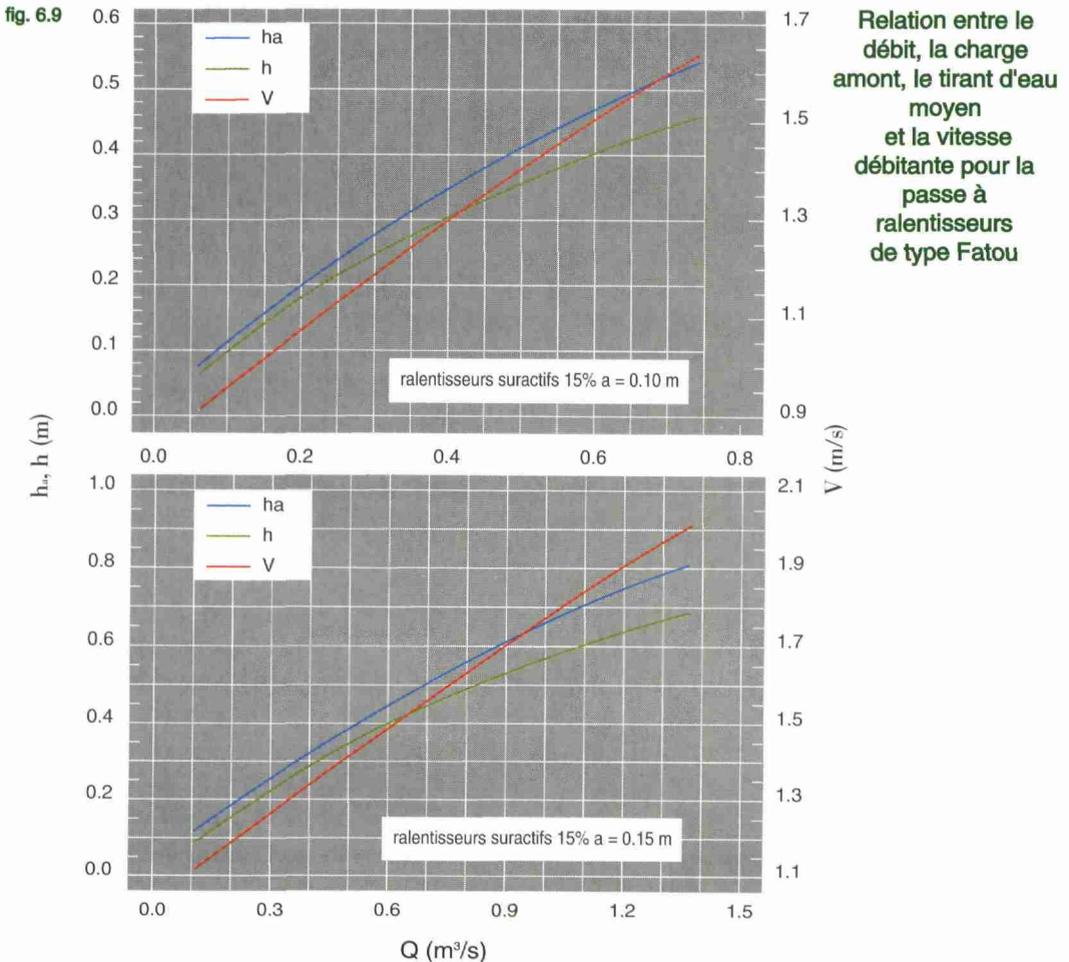


Truite remontant une passe à ralentisseurs suractifs

La limite inférieure de fonctionnement est caractérisée par une charge minimale sur le ralentisseurs amont ( $h_a$ ) - ou un tirant d'eau minimum au-dessus des ralentisseurs ( $h$ ) - permettant à la fois "l'amorçage de la passe" (apparition des courants en hélice) et la nage du poisson. On peut adopter comme limite  $h/a = 1.15$ . La valeur minimale du tirant d'eau ( $h$ ) à prendre est fonction de la taille du poisson : on prendra entre 15 et 20 cm pour les grands salmonidés migrateurs et environ 10 cm pour la truite.

La limite supérieure de fonctionnement de la passe est beaucoup plus délicate à définir dans la mesure où elle est liée aux capacités de nage du poisson.

On a porté sous forme dimensionnelle sur la figure 6.9 la relation entre le débit unitaire ( $q$ ), la charge amont ( $h_a$ ), le tirant d'eau moyen ( $h$ ), et la vitesse débitante ( $V$ ) pour une passe à saumon ayant des ralentisseurs de 0.15 m de hauteur et une passe à truite ayant des ralentisseurs de 0.10 m de hauteur et de pente 15%. La marge de fonctionnement pour la passe à grands salmonidés exprimée en débit unitaire devrait se situer entre 250 l/s/m et 1400 l/s/m (soit une variation du niveau amont de l'ordre de 50 à 60 cm). La marge de fonctionnement pour la passe à truite devrait se situer entre 150 l/s/m et 500 l/s/m (soit une variation du niveau amont inférieure à 30 cm).





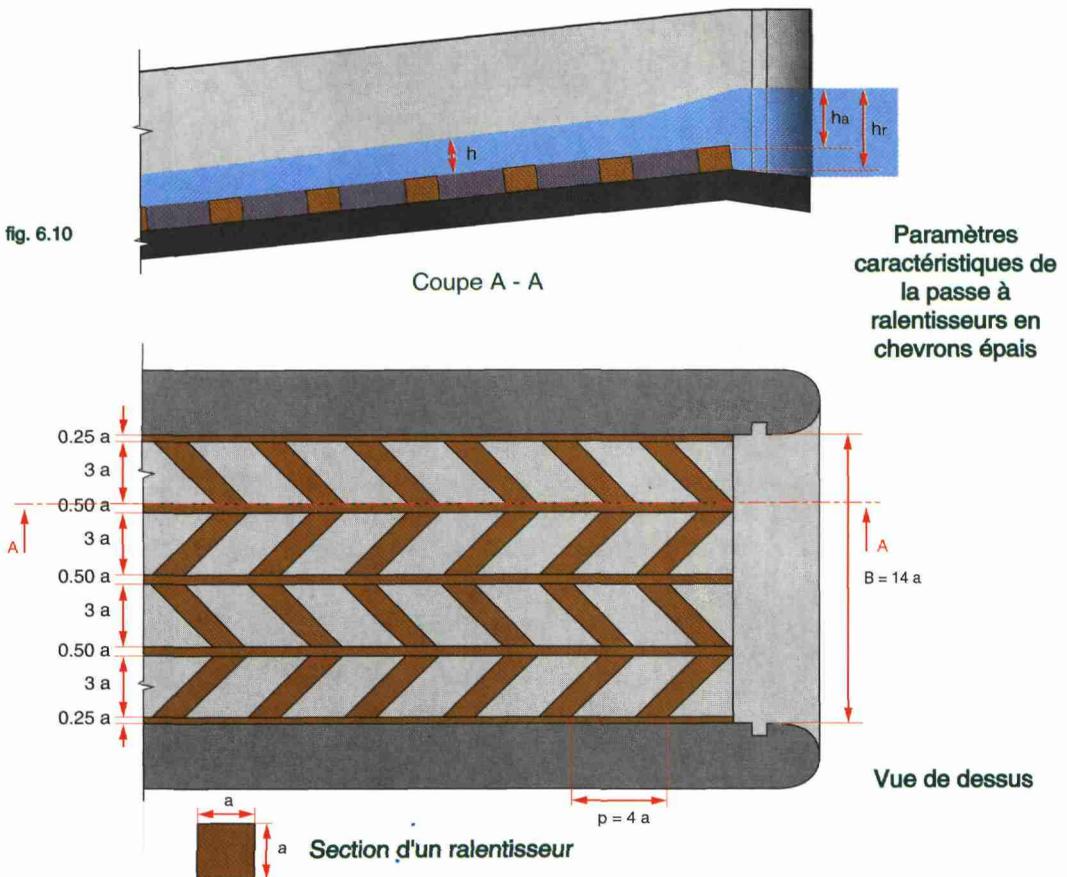
Passe à ralentisseurs  
suractifs en Normandie

#### 4.5 Passes à ralentisseurs à chevrons épais dites “passes mixtes poissons - canoës-kayaks”

Il semblait *a priori* que certaines passes à ralentisseurs de fond pouvaient convenir, moyennant quelques modifications, au passage des canoës ou des kayaks. Sur certaines microcentrales, il est possible d'envisager la construction d'un seul ouvrage servant à la fois de dispositif de franchissement pour les poissons vers l'amont et pour les canoës-kayaks vers l'aval.

Des essais sur modèle réduit ont permis d'adapter au passage des bateaux des modèles de ralentisseurs testés auparavant sur modèle pour le poisson [57].

Il a semblé préférable de s'orienter vers des ralentisseurs épais (en bois) de préférence à des ralentisseurs minces (en tôle) jugés potentiellement trop dangereux. Le choix s'est porté sur les ralentisseurs dont la forme était la plus simple, c'est-à-dire des ralentisseurs de section carrée en chevrons dont l'ouverture fait un angle de  $90^\circ$ . Il convient de rappeler que lors des essais sur modèles, ce type de ralentisseurs (en tant que passe à poissons) avait à l'origine été écarté, au profit des ralentisseurs suractifs, compte tenu de leur moins bonne efficacité hydraulique.



Des bandes longitudinales ont été ajoutées au modèle initial afin de réduire l'agressivité des ralentisseurs pour la pratique du canoë-kayak. Ces bandes longitudinales ayant pour effet d'accélérer l'écoulement, on limitera autant que possible leur largeur.

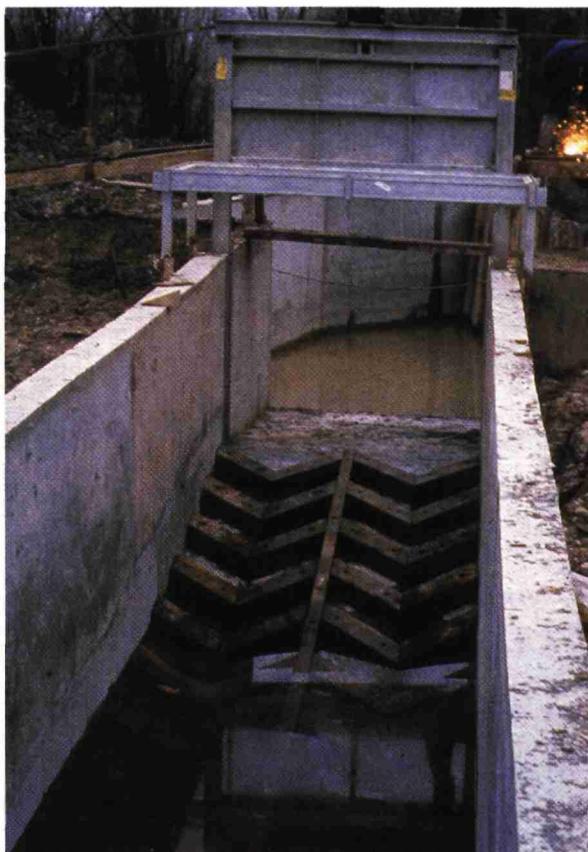
Pour faciliter le guidage des embarcations, il est indispensable que l'axe de la passe corresponde à la pointe amont d'un chevron.

Les ralentisseurs ont une section carrée, de dimension variant de 8 cm à 15 cm, la plus fréquente étant 10-12 cm. Plusieurs chevrons sont juxtaposés de façon à obtenir une largeur suffisante pour le passage des embarcations (généralement comprise entre 1.40 m et 2.10 m). La pente maximale admise est voisine de 15-16%.

L'inconvénient majeur de ce dispositif en tant que passe à poissons est qu'il est hydrauliquement moins efficace que la passe à ralentisseurs suractifs, ce qui se traduit par une marge de fonctionnement "biologique" plus réduite qui dépend des capacités de nage du poisson.

On réservera absolument ce type de dispositif aux grands salmonidés migrateurs (taille supérieure à 40 cm) et cela à condition que les variations du niveau amont restent limitées. La marge de fonctionnement pour la passe à grands salmonidés devrait se situer entre 250 l/s/m et 800-900 l/s/m (ce qui correspond à une variation du niveau amont de l'ordre de 30-40 cm). La marge de fonctionnement pour la truite est très faible (de l'ordre d'une dizaine de cm), ce qui, pour cette espèce, limite considérablement l'intérêt d'un tel dispositif.

Les caractéristiques géométriques sont données sur la figure 6.10. Deux rangées de chevrons ont été disposées sur la largeur de la passe. Cette configuration est plus adaptée au passage des poissons : les zones à faibles vitesses empruntées de préférence par le migrateur sont situées sur les bords de la passe. Il est possible, sans inconvénient majeur, de supprimer toutes les bandes longitudinales, à l'exception de la bande centrale, située dans l'axe de symétrie de la passe, dont le rôle est de stabiliser l'écoulement. Pour le passage des embarcations, on inversera la disposition des chevrons de telle sorte que l'axe de la passe corresponde à la pointe amont d'un chevron pour faciliter le centrage des embarcations dans le dispositif. Il conviendra de conserver toutes les bandes longitudinales.



Passes à chevron épais utilisée comme glissière à canoë-kayak à Brimeux (Pas-de-Calais)

La figure 6.11 donne sous forme adimensionnelle pour plusieurs pentes ( $I$ ), la relation entre :

le débit unitaire  $q^* = \frac{q}{\sqrt{2g} a^{1.5}}$ , la charge amont ( $h_a/a$ ),

le tirant d'eau moyen ( $h/a$ ), et la vitesse débitante  $V^* = \frac{aq^*}{h}$ .

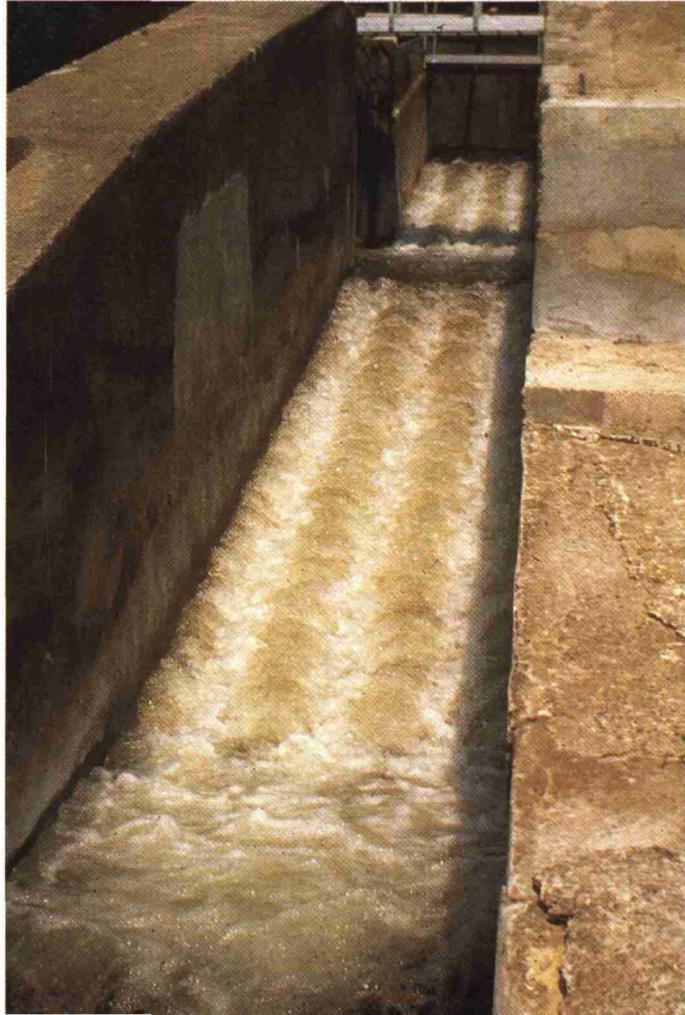
La charge amont ( $h_a$ ) est la différence entre la cote en altitude de la surface libre en amont et celle du point de début de déversement du ralentisseur amont (la cote de déversement de la pointe aval du ralentisseur). La relation entre  $h_a$  et  $h_r$ , la charge comptée par rapport à la cote du radier au niveau de la pointe amont du ralentisseur amont, est la suivante :

$$h_r = h_a + a - 3 a I$$

Le tirant d'eau moyen ( $h$ ) est la profondeur d'eau moyenne dans la passe au-dessus des ralentisseurs.

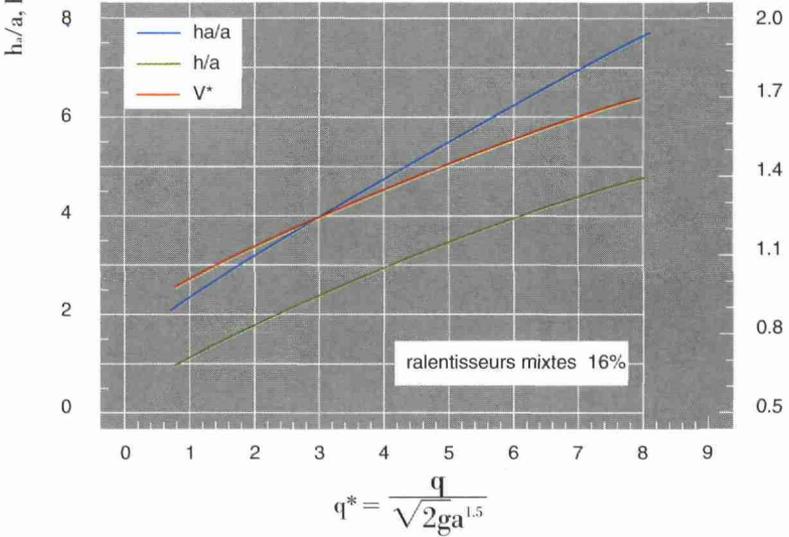
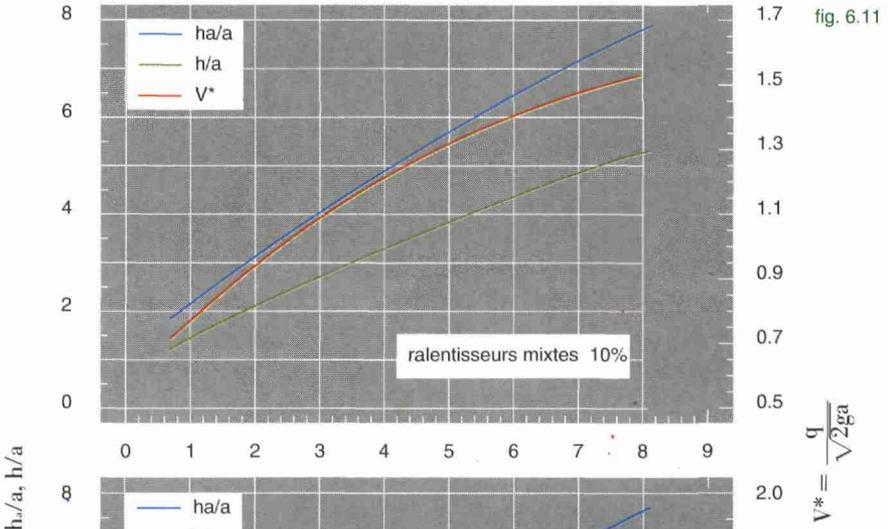
Le débit  $Q$  ( $m^3/s$ ) s'écoulant dans une passe s'obtiendra aisément en multipliant le débit unitaire ( $q$ ) obtenu à partir de  $h_a$ , par la largeur ( $L$ ) de la passe.

On a porté sous forme dimensionnelle sur la figure 6.12 la relation entre le débit unitaire ( $q$ ), la charge amont ( $h_a$ ), le tirant d'eau moyen ( $h$ ), et la vitesse débitante ( $V$ ) pour une passe à saumon ayant des ralentisseurs de 0.10 m de hauteur.

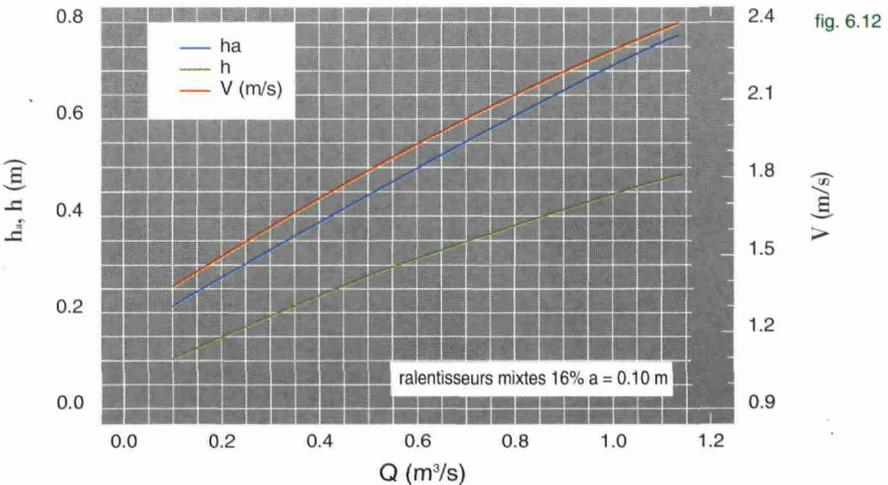


Passé à chevron épais au barrage du Bazacle sur la Garonne (Haute-Garonne)

Relation entre le débit, la charge amont, le tirant d'eau moyen et la vitesse débitante pour la passe à ralentisseurs de fond en chevrons épais



Relation entre le débit, la charge amont, le tirant d'eau moyen et la vitesse débitante pour la passe à ralentisseurs de fond en chevrons épais (a = 0.10 m et pente 16%)



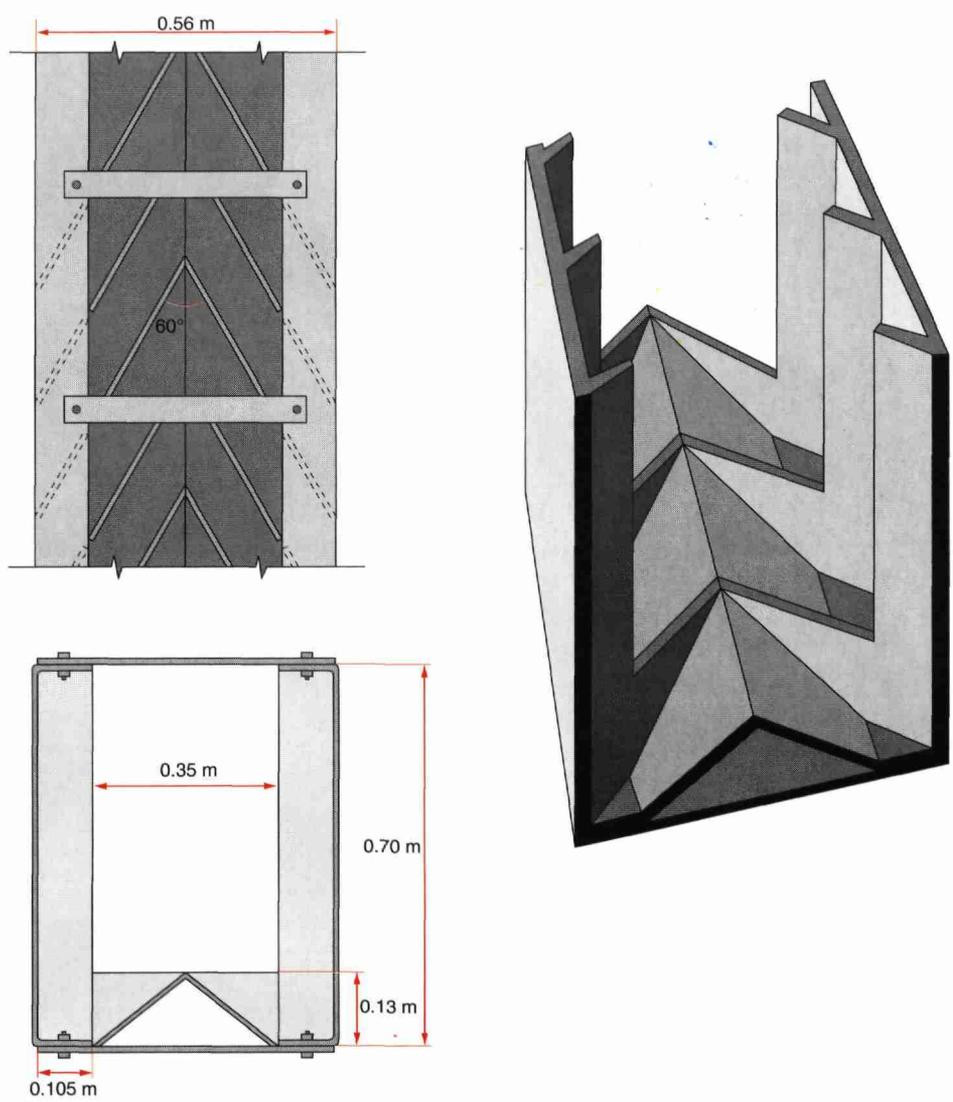
## 4.6 Passes à ralentisseurs de type Alaska

Ce type de passe (Fig. 6.13) a été développé pour le saumon du pacifique dans les années 60 en Alaska [125] à partir d'un prototype testé sur modèle par MCLEOD et NEMEYI [73]. Cette passe est de petite dimension (largeur 0.56 m, hauteur 0.70 m, largeur libre intérieure de 0.35 m) ce qui permet l'utilisation de pentes fortes de 25% à 35%. Plusieurs variantes ont été développées, différant par la hauteur et l'inclinaison des ralentisseurs latéraux.

Ce modèle de passe est préfabriqué par éléments de 3 mètres en alliage d'aluminium (épaisseur 6 mm) dont le poids est voisin de 240 Kg, transporté par hélicoptère et assemblé sur place par boulonnage. Il a été développé dans le but précis d'équiper des chutes naturelles en Alaska situées dans des zones difficilement accessibles où la construction de passes en béton à des coûts acceptables s'avérait impossible.

L'inconvénient majeur de cette passe est son débit limité et sa faible tolérance aux variations du niveau amont. On est généralement amené à injecter à proximité de la passe un débit complémentaire pour en augmenter l'attractivité. Compte tenu de sa faible largeur, elle est très sujette au colmatage par les branches et autres corps dérivants.

Son utilisation présente peu d'intérêt dans un pays comme la France, dans la mesure où la plupart des obstacles sont accessibles et où son implantation correcte sur un ouvrage existant nécessite de toutes façons des travaux de génie civil. ■



Paramètres caractéristiques de la passe à ralentisseurs de type Alaska

fig. 6.13

# ECLUSES ET ASCENSEURS A POISSONS

## 1 ECLUSES A POISSONS

### 1.1 Principe et fonctionnement

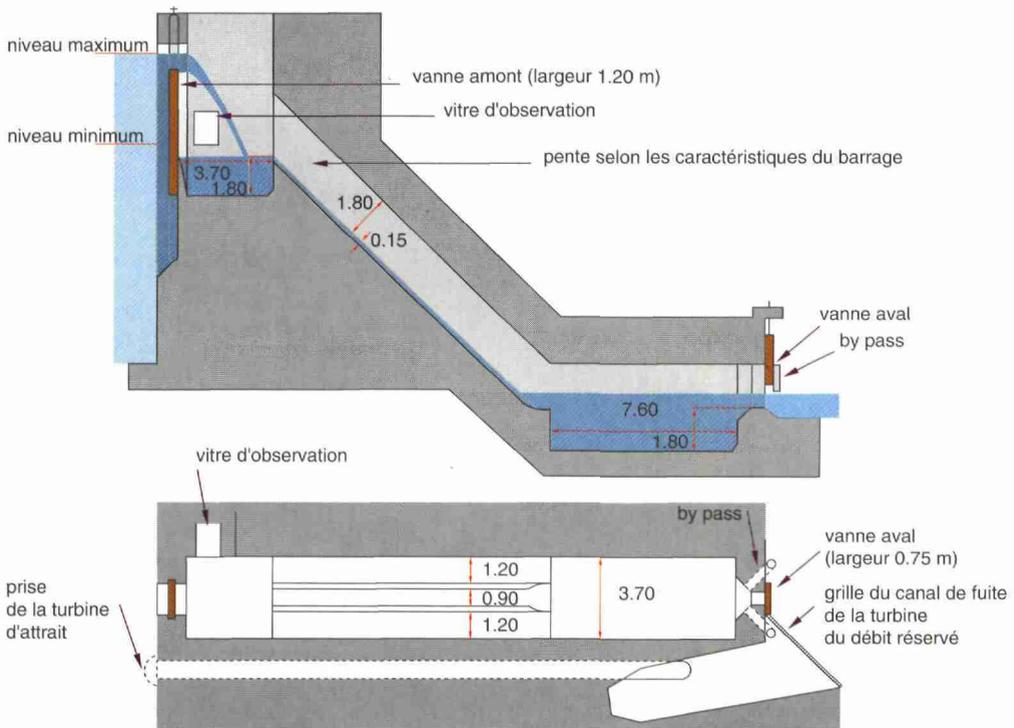


fig. 7.1

Coupe transversale d'une écluse à poissons (d'après AITKEN [1])

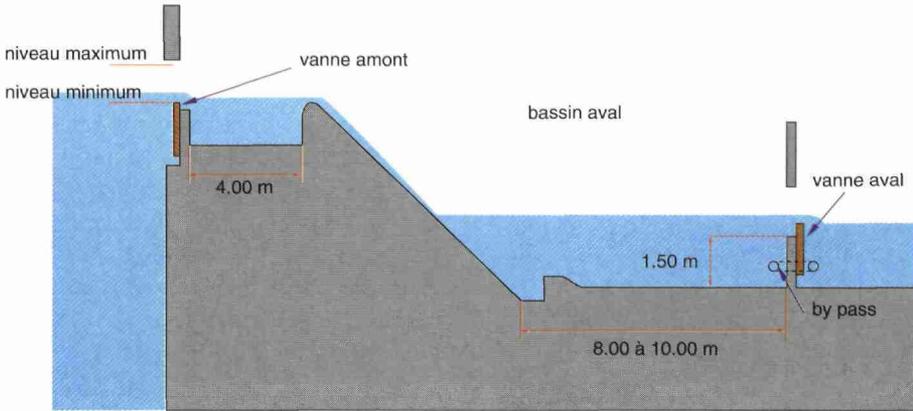


Schéma d'une écluse à poissons pour une installation de basse chute

fig. 7.3

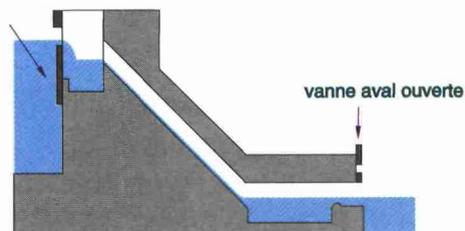
C'est vers 1949 que l'ingénieur irlandais BORLAND mit au point sur modèle réduit la première écluse à poissons qui fut ensuite construite au barrage de Leixlip, sur la rivière Liffey. De nombreuses écluses de ce type furent ensuite édifiées par le North of Scotland Hydroelectric Board qui chercha à normaliser leurs dimensions.

Une écluse à poissons se compose généralement d'une chambre amont située au niveau de la retenue reliée à une chambre aval de grande dimension par un conduit incliné ou un puits vertical. A chaque extrémité des chambres sont installées des vannes automatisées.

Les caractéristiques et les dimensions d'une écluse-type, telles qu'elles ont été proposées par le North of Scotland Hydroelectric Board après la mise au point de ses premières écluses, ont été portées sur la figure 7.1 [1].

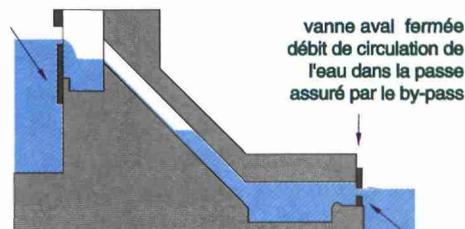
Le principe de fonctionnement d'une écluse à poissons est très voisin de celui d'une écluse de navigation : on attire le migrateur dans la chambre aval et on l'écluse comme on écluserait un bateau. On incite le poisson à sortir de l'écluse en créant à l'intérieur de celle-ci un courant descendant grâce à l'ouverture d'un by-pass situé dans la partie inférieure du dispositif.

vanne amont ouverte position asservie au niveau amont pour alimentation de la passe à débit constant



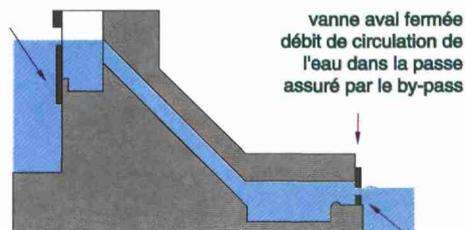
phase 1 : attraction des poissons

vanne amont laissée en position de déversement à la cote de la phase précédente



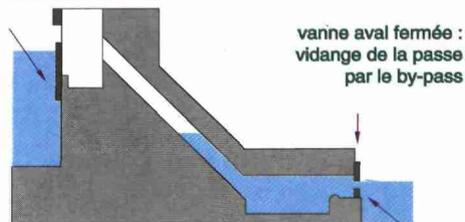
phase 2 : remplissage by - pass

vanne amont ouverte : position idem phase 1 ou plus basse



phase 3 : sortie des poissons by - pass

vanne amont fermée



phase 4 : vidange by - pass

Le cycle de fonctionnement peut se résumer ainsi (Fig. 7.2) :

- phase d'attrait : la vanne aval est ouverte, le débit dans l'écluse étant contrôlé par la vanne amont. L'eau s'écoule dans le bassin tampon constitué par la chambre supérieure, puis par le couloir vers la chambre de stabulation. Le courant ainsi créé attire le poisson dans la chambre inférieure,

- phase de remplissage et de sortie : après une certaine durée de la phase d'attrait, la vanne aval se referme et l'écluse se remplit. Le poisson suit alors la surface libre dans le conduit, remonte et atteint la chambre amont lorsque l'écluse est pleine. On incite le poisson à passer dans la retenue en établissant un courant d'attrait grâce à l'ouverture d'un by-pass dans la chambre inférieure,

- phase de vidange : au bout d'un certain temps, on ferme la vanne amont. La vidange s'effectue progressivement par le by-pass. Lorsque la vidange est presque totale et que la charge sur la vanne aval devient suffisamment faible, on procède à la réouverture de la vanne aval. Cette vidange progressive par le by-pass permet d'éviter de fortes mises en vitesses à l'entrée de l'écluse qui risquent de chasser le poisson situé à proximité de celle-ci.

Schémas de principe de fonctionnement d'une écluse à poissons

fig. 7.2

La durée totale du cycle peut varier de une à plus de quatre heures.

La conception d'une écluse Borland est très souple et a pu être adaptée à plusieurs types d'obstacles et pour des hauteurs de chute variant de quelques mètres à plus de 60 mètres [1].

Lorsque la dénivellation reste inférieure à 4-5 mètres, il est possible de laisser ouvert tout le système, même la chambre aval (Fig. 7.3).

## 1.2 Efficacité des écluses à poissons

L'efficacité d'une écluse est fonction, comme pour tout dispositif de franchissement, de son attractivité : l'entrée de l'écluse doit être bien située ; comme son débit est généralement limité à quelques centaines de litres, il peut s'avérer nécessaire de prévoir un débit d'appoint. Lorsque le niveau aval varie, la vanne aval doit être asservie au niveau d'eau aval pour conserver des vitesses suffisantes à l'entrée. Il est enfin préférable d'éclairer la chambre inférieure de façon à assurer une transition entre le milieu extérieur et l'écluse.

L'efficacité d'un tel dispositif est surtout liée au comportement du poisson qui doit demeurer dans la chambre aval pendant toute la phase d'attrait, suivre le niveau de l'eau lors de la phase de remplissage et sortir de l'écluse avant la vidange.

À cet égard, il est nécessaire que les vitesses et les turbulences dans le bassin de stabulation aval restent acceptables pour le poisson. Il faut d'autre part éviter un remplissage trop rapide induisant des turbulences exagérées et un fort entraînement d'air à la surface qui peuvent inciter le poisson à rester dans la chambre inférieure. Il convient enfin de laisser un temps suffisant au poisson pour sortir de l'écluse afin d'éviter qu'il ne soit entraîné de nouveau à l'aval lors de la vidange.

Il est impossible *a priori* de déterminer quelles seront les conditions hydrauliques optimales pour les migrateurs. Les caractéristiques optimales du cycle de fonctionnement sont par ailleurs étroitement liées à l'espèce considérée. C'est pourquoi il convient de donner au fonctionnement de l'écluse un maximum de flexibilité (dans la durée de chaque phase du cycle, dans le degré et le temps d'ouverture des vannes amont et aval, etc.).

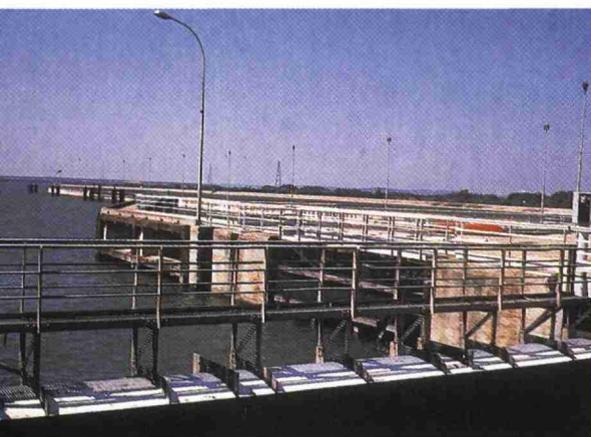
Malgré ces précautions (et *a fortiori* lorsqu'elles n'ont pas été prises), de nombreuses écluses se sont révélées peu ou pas efficaces. L'inconvénient majeur de l'écluse est que sa capacité de passage est généralement faible comparée à celle d'une passe classique, en raison du caractère discontinu de son fonctionnement : le système n'est en effet "piégeant" qu'une partie du temps ; en phase de remplissage ou de sortie, aucun attrait ne se fait sentir au pied du dispositif et le poisson se présentant au pied de l'écluse peut fort bien quitter la zone avant que le cycle ne revienne en phase de piégeage. Le poisson attiré dans l'écluse peut aussi ressortir de la chambre aval avant la fin de la phase de piégeage.

Les écluses construites aux USA sur les premiers aménagements de la rivière Columbia (Bonneville, The Dalles, McNary) ont d'ailleurs été abandonnées au profit de passes à bassins. De même en France, la plupart des écluses sont jugées inefficaces (certaines pour des raisons évidentes de conception) ; quelques unes ont été ou vont être remplacées par des passes à bassins.

Les difficultés, liées au comportement de certaines espèces, ont été contournées aux USA [97 ; 98] et en Russie [51 ; 71 ; 82], de la façon suivante (figure 7.8) :

- les migrateurs sont piégés dans un vaste bassin de stabulation situé au pied de l'écluse,
- ils sont poussés dans le sas à l'aide d'une grille mobile fixée sur un chariot se déplaçant sur des rails horizontaux le long des parois latérales du bassin,
- un carrelet mobile suivant le niveau de l'eau lors de la période de remplissage oblige les poissons à passer en amont.

Arrivé à ce stade de sophistication, la solution de l'ascenseur mécanique ou le retour à une passe classique devient souvent préférable.



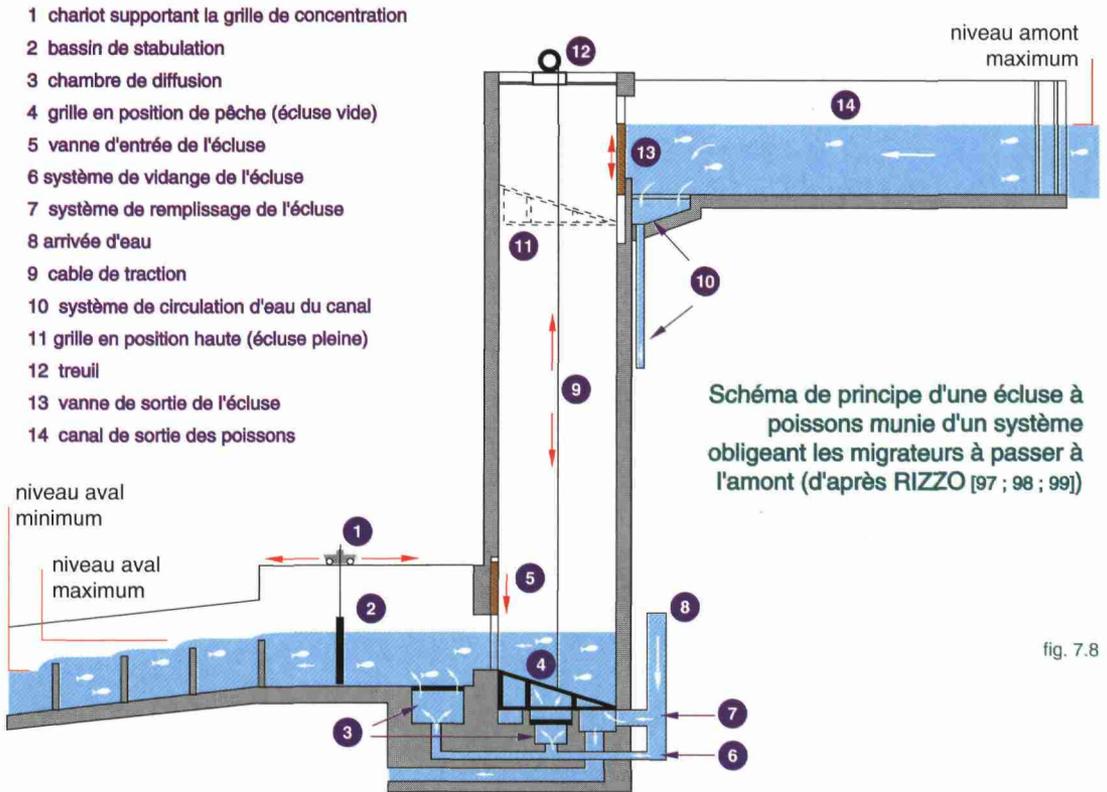


fig. 7.8

### 1.3 Utilisation des écluses de navigation pour la remontée des poissons

Le passage des poissons migrateurs par les écluses de navigation est généralement accidentel, compte tenu du manque d'attractivité de ces ouvrages, généralement situés dans des zones relativement calmes afin de faciliter les manœuvres des bateaux. Des tests effectués aux USA ont montré que moins de 1.5 % des migrateurs empruntaient l'écluse du barrage de Bonneville sur la rivière Columbia [77]. Certaines espèces, comme l'aloise, semblaient avoir par ailleurs de la difficulté à passer en amont, l'écluse étant pleine et les portes amont ouvertes.

Les écluses de navigation, à condition d'adapter leur gestion, peuvent cependant constituer un appont non négligeable, voire une alternative intéressante à la construction d'un dispositif de franchissement sur les ouvrages existants. Un certain nombre d'essais [53 ; 51 ; 48] montrent que la condition à satisfaire, comme pour tout dispositif de franchissement, est la création d'un courant d'attrait suffisant dans le chenal d'approche aval de l'écluse. Cet attrait est généralement créé en ouvrant (partiellement sinon totalement) les vannes de remplissage, les portes aval restant ouvertes. Une fois l'écluse remplie, il paraît nécessaire d'y maintenir des vitesses suffisantes pour inciter le poisson à passer à l'amont.

Plus de 10000 aloses ont transité par l'écluse à bateaux située à l'aménagement de Beaucaire sur le Rhône en 1992 lors de 49 éclusées. Le débit d'attrait optimal était de l'ordre de 60 m<sup>3</sup>/s, ce qui correspondait à un pourcentage variant entre 2% et 8% du débit turbiné [48]. La sortie du poisson dans le bief amont était assurée par le maintien d'un débit de plusieurs m<sup>3</sup>/s dans l'écluse et par la création d'un jet de surface obtenu en relevant partiellement la porte amont.

Le recours aux écluses de navigation en tant que dispositifs de franchissement est cependant limité du fait de l'incompatibilité de leur mode de gestion avec les impératifs de la navigation. ■

## 2

## ASCENSEURS A POISSONS

### 2.1 Principe de fonctionnement

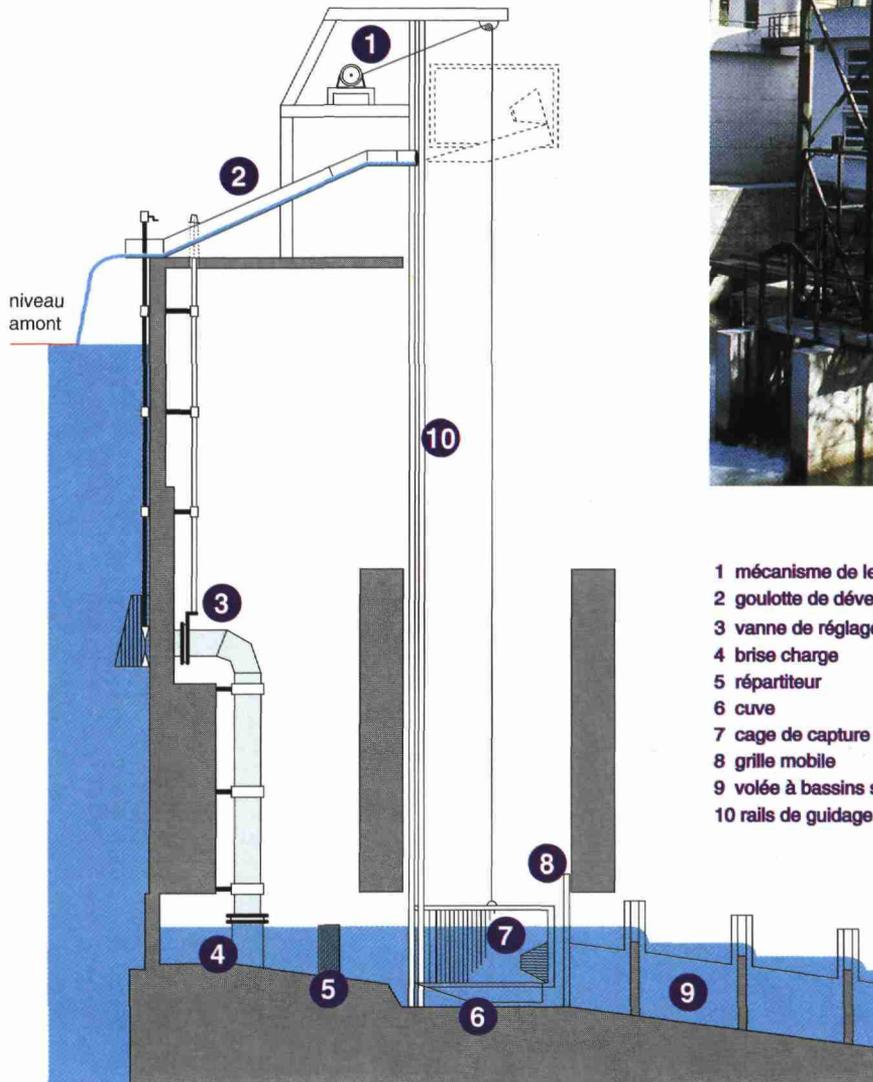
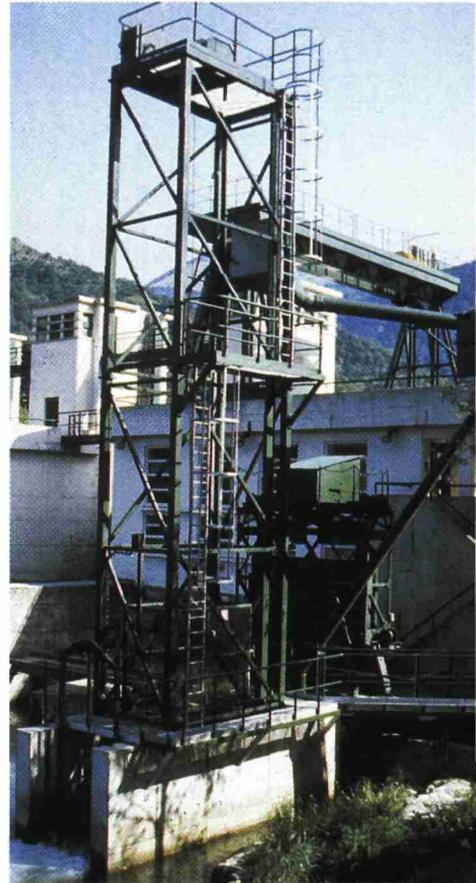
Dans son principe, un ascenseur à poissons est un système mécanique qui consiste à capturer les migrateurs au pied de l'obstacle dans une cuve contenant une quantité d'eau appropriée à leur nombre puis à élever et déverser celle-ci en amont.

Le dispositif est représenté sur les figures 7.4 et 7.5. Les migrateurs sont attirés dans un bassin de piégeage (ou de stabulation) par un débit d'attrait. Ils sont piégés dans une "cage" grillagée munie d'un dispositif anti-retour (en général, principe de la nasse) et comprenant, en partie basse, la cuve de transport. A l'aval immédiat de cette cage, est disposée une grille verticale mécanisée (fonctionnement en "herse") qui vient interdire la pénétration des poissons au-dessous de la cuve lorsque celle-ci est en manœuvre.



Cuve en position haute, dispositif de levage de l'ascenseur de Poutès sur l'Allier (Haute-Loire)

Ascenseur à poissons de Castet sur le Gave d'Ossau (Pyrénées-Atlantiques)



- 1 mécanisme de levage
- 2 goulotte de déversement
- 3 vanne de réglage du débit d'attrait
- 4 brise charge
- 5 répartiteur
- 6 cuve
- 7 cage de capture
- 8 grille mobile
- 9 volée à bassins successifs
- 10 rails de guidage

fig. 7.4

Coupe transversale d'un ascenseur à salmonidés (ascenseur de Poutès sur l'Allier)

Cotes	Truite	Saumon
a	0.15	0.20
b	0.20	0.30
c	0.60	0.90
d	0.50	0.75
e	0.02	0.035
h	0.80	1.00
H	1.40	1.80
l	1.00	1.50
L	1.50	2.50
p	0.20	0.30

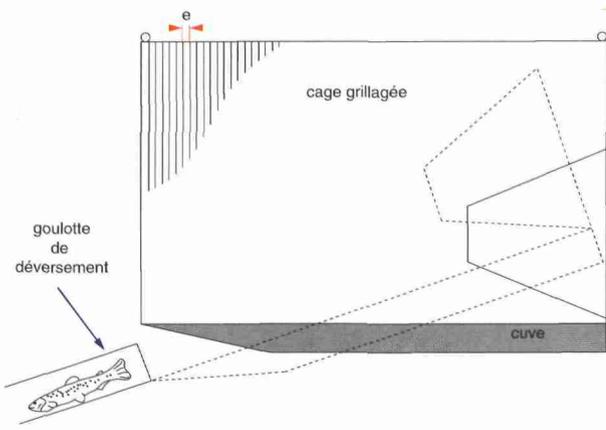
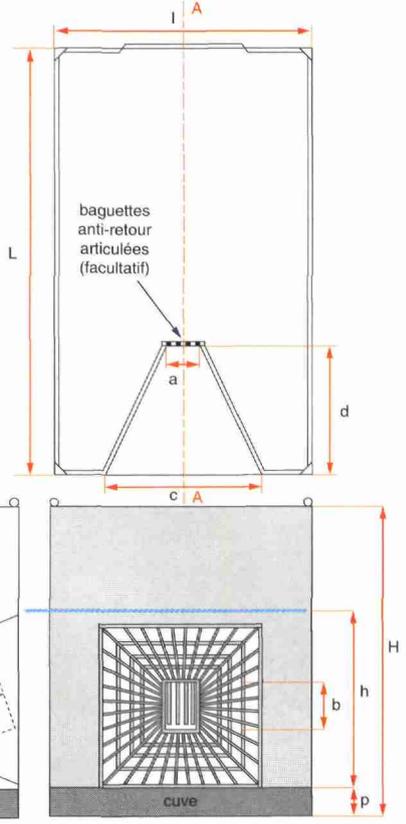


fig. 7.5

Schéma de principe et dimensionnement de la cage et de la cuve d'un ascenseur à salmonidés



Cuve en phase de remontée et poissons dans la cuve de l'ascenseur de Poutès sur l'Allier (Haute-Loire)

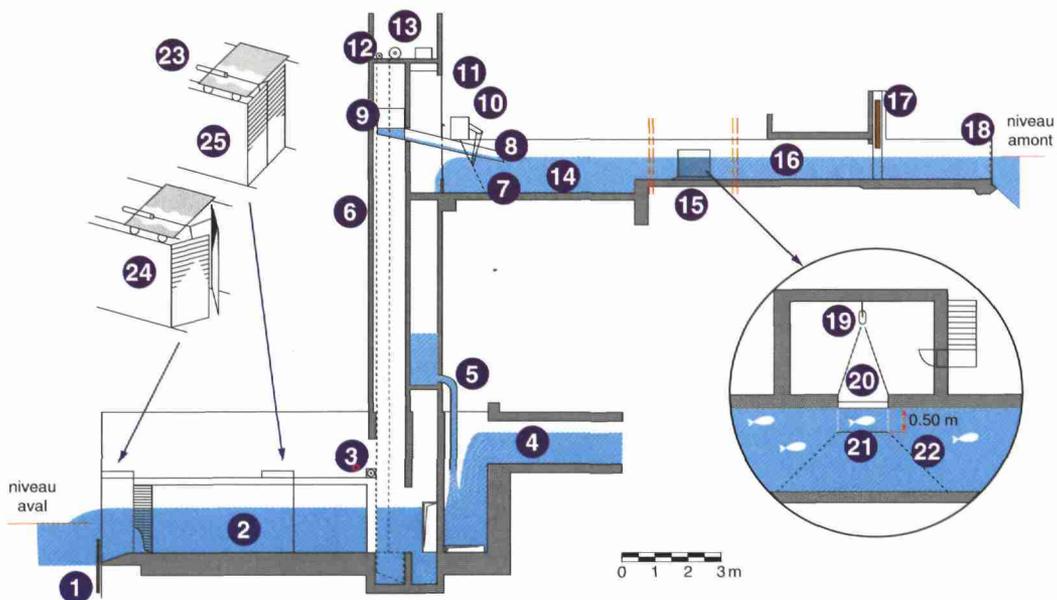
Le levage de la cuve est assuré par un treuil électrique supporté par une superstructure métallique ou en béton. Le transfert à l'amont s'effectue par basculement de la cuve ou par vidange à l'aide d'une vannette.

Deux modes de déversement sont envisageables: déversement direct de la cuve dans la retenue par une goulotte ou déversement dans un canal relié au plan d'eau amont si l'ascenseur n'est pas implanté à l'aplomb de la retenue. Un courant permanent est entretenu dans ce canal pour orienter les poissons et les inciter à gagner la retenue.

Lorsque le nombre de poissons à remonter est important, ou que l'on a affaire à des poissons supportant mal le confinement (alose par exemple), un grand volume de stabulation est nécessaire. Ce type d'ascenseur, dont le dispositif de capture est intégré à la cuve, devient alors difficilement utilisable car ceci conduirait à des tailles de cage de capture difficilement manœuvrables. Il est possible d'y remédier par un dispositif différent où les fonctions de capture, stabulation et levage des poissons sont découplées (Fig. 7.6 et 7.7).



Partie basse d'un ascenseur à concentration des poissons mécanisé :  
 alimentation en eau, bassin de capture et stabulation des poissons  
 (ascenseur de Golfech sur la Garonne)



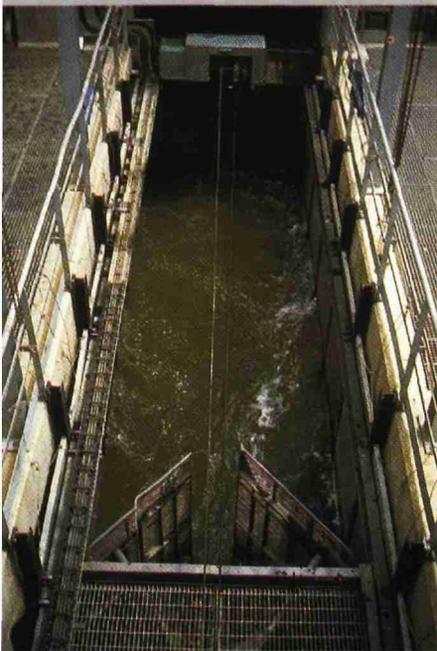
- |                                      |                                       |   |
|--------------------------------------|---------------------------------------|---|
| 1 vanne automatique                  | 10 dégrilleur                         | 18 grille de protection                 |
| 2 bassin de stabulation des poissons | 11 vanne de réglage du débit du canal | 19 caméra                               |
| 3 treuil de manoeuvre du chariot     | 12 treuil grille mobile               | 20 vitre                                |
| 4 débit d'attrait principal          | 13 treuil cuve                        | 21 plaque PVC quadrillée                |
| 5 évacuation du débit du canal       | 14 fosse de réception                 | 22 grille                               |
| 6 tour de l'ascenseur                | 15 vitre de comptage                  | 23 vérin                                |
| 7 grille                             | 16 canal de transfert                 | 24 chariot en position de pêche         |
| 8 goulotte                           | 17 vanne d'isolement                  | 25 chariot en position de concentration |
| 9 cuve en position haute             |                                       |   |

fig. 7.7

### Coupe transversale d'un ascenseur à concentration des poissons mécanisé (ascenseur de Golfech sur la Garonne)

Les poissons sont capturés et stabulés dans un bassin de grande taille à l'entrée duquel est installé un dispositif anti-retour. La cuve est encadrée dans le radier à l'amont du bassin de stabulation. Immédiatement avant la remontée, les poissons sont poussés par une grille mobile verticale montée sur un chariot à déplacement horizontal qui vient les confiner dans le volume situé au-dessus de la cuve. La même grille, composée de deux panneaux articulés, assure généralement la fonction de capture (panneaux ouverts disposés en forme de nasse) et de concentration (panneaux refermés formant une grille plane). Ce principe a été adopté en France sur les ascenseurs de Golfech (Garonne) et de Tuilières (Dordogne).

Le cycle de fonctionnement de ces deux types d'ascenseur est le suivant :



Bassin de stabulation  
(vue vers l'amont) et  
dispositif de grilles de  
l'ascenseur de Golfech



Déversement des  
poissons dans le canal  
amont de l'ascenseur  
de Golfech

#### ■ Ascenseur à dispositif de capture intégré à la cuve

- phase de piégeage du poisson : la cuve est en position basse, la grille de séparation entre la superstructure de l'ascenseur et la cage de capture est ouverte. Les poissons, attirés par le courant d'eau, remontent dans la cage où ils sont piégés par le dispositif anti-retour,
- phase de remontée de la cuve et déversement : la grille verticale de séparation empêchant l'accès des poissons s'abaisse. La cuve est remontée et déversée à l'amont,
- phase de descente de la cuve : après déversement, la cuve redescend en position de capture. La grille verticale de séparation est réouverte.

#### ■ Ascenseur à concentration de poissons mécanisée

- phase de piégeage du poisson : la cuve est en position basse, la grille de séparation entre la superstructure de l'ascenseur et le bassin de stabulation est ouverte. Les poissons, attirés par le courant d'eau, remontent naturellement dans le bassin de stabulation et la section située au-dessus de la cuve. Ils sont piégés par le dispositif anti-retour situé à l'entrée du bassin,
- phase d'introduction des poissons dans la cuve : la grille mobile de concentration avance vers la cuve et pousse les poissons au-dessus de celle-ci. En fin de course, la grille verticale de séparation empêchant l'accès des poissons au-dessus de la cuve se referme,
- phase de remontée de la cuve : la cuve est remontée et déversée à l'amont. Pendant ce temps, la grille mobile recule et revient en position de capture,
- phase de descente de la cuve : après déversement, la cuve redescend en position de capture. La grille verticale de séparation est réouverte.

## 2.2 Critères de conception

Les critères résultent essentiellement de l'expérience acquise sur la côte Est des USA [7 ; 19 ; 99] et de celle plus récemment acquise en France [116].

### ■ Choix du type d'ascenseur

Le choix entre l'ascenseur à dispositif de capture incorporé à la cuve de levage et celui à dispositif de concentration mécanisé dépend du nombre de poissons et des espèces susceptibles d'emprunter l'ouvrage.

Le premier type est adapté aux sites où le nombre de poissons présents simultanément dans l'ouvrage ne dépasse pas quelques dizaines d'individus, et où il n'existe pas d'espèces fragiles risquant de se blesser ou de se stresser exagérément. En règle générale, il est parfaitement adapté aux populations de salmonidés (saumon, truite de mer, truite) dont la migration annuelle n'excède pas quelques milliers d'individus à condition que l'ouvrage se situe dans une portion du cours d'eau où le nombre d'individus d'espèces holobiotiques susceptibles d'emprunter l'ouvrage est réduit (petits cours d'eau ou partie supérieure des grands cours d'eau à salmonidés migrateurs). Ce type d'ascenseur est contre-indiqué pour l'alose, compte tenu de la fragilité de l'espèce et de son mode de migration "en pics". Il est toujours possible d'adapter ce type d'ascenseur à des sites où les migrations sont numériquement importantes, mais il nécessite le relevage d'une cage de très grande taille (cas de l'aménagement de Pejepsot sur la rivière Androscoggin aux USA).



Vue de la nasse de l'ascenseur à l'aménagement de Pejepsot (USA)

Dès lors que le nombre instantané de poissons présents simultanément dans l'ouvrage est important (quelques centaines à quelques milliers d'individus) et lorsque des espèces fragiles telles que l'alose sont présentes, il est plus judicieux d'utiliser un ascenseur à dispositif de concentration. C'est le cas de la partie inférieure des grands cours d'eau (Dordogne et Garonne, par exemple) où, en plus de l'alose, plusieurs dizaines de milliers de poissons appartenant à une vingtaine d'espèces holobiotiques sont susceptibles d'emprunter l'ouvrage. À titre d'exemple, à l'ascenseur de Golfech il a été dénombré en 1989 plus de 66 000 aloses (représentant un poids de l'ordre de 120 tonnes) et environ 30 000 individus appartenant à une vingtaine d'espèces différentes [115].

### ■ Implantation de l'ascenseur

Les conditions d'implantation d'un ascenseur sont similaires à celles des autres types de dispositifs de franchissement. La situation de l'entrée est fonction de la configuration du site et le débit d'attrait doit être à l'échelle du cours d'eau. L'écoulement à l'entrée de l'ouvrage doit avoir une certaine vitesse pour inciter les poissons à y pénétrer. On maintient à cet effet une chute de 0.2 m à 0.3 m.

Dans le cas des ascenseurs à dispositif de capture incorporé à la cuve de levage, il peut être intéressant d'installer l'ascenseur à l'amont d'une courte section de passe à bassins ou à ralentisseurs. Ceci permet de limiter la hauteur de la cage ou de la nasse anti-retour, de protéger le dispositif contre les crues et de limiter son entretien.

### ■ Alimentation en eau

L'alimentation en eau s'effectue en totalité ou en partie dans le bassin de stabulation. Lorsque le débit nécessaire à l'attraction des migrateurs ne crée pas dans la cage ou le bassin de stabulation des vitesses trop élevées, on fera transiter la totalité du débit au travers de ce bassin. Pour les ascenseurs à dispositif de capture incorporé à la cuve, l'eau, après dissipation d'énergie est injectée à l'amont de la cage de capture. Pour les ascenseurs à dispositif de concentration, on aura intérêt à répartir le débit en plusieurs points d'injection: une partie à l'amont de la cuve et une partie sur les parois latérales du bassin. Il est injecté au travers de grilles avec une vitesse inférieure à une quarantaine de centimètres par seconde.

Si la totalité du débit ne peut être injectée dans le bassin de stabulation, une partie sera délivrée à l'aval du dispositif anti-retour. Comme pour les autres dispositifs de franchissement, on injectera ce débit au travers de grilles avec une vitesse inférieure à 30 cm/s. En Amérique du Nord, cette injection se fait couramment par des diffuseurs de fond implantés dans le radier. Si cette solution présente l'avantage de maintenir constantes les vitesses au travers de la grille quel que soit le niveau de l'eau, elle pose cependant de sérieuses contraintes de nettoyage. De ce fait, on préfère, en France, délivrer ce débit au travers de grilles verticales. Ces grilles seront situées le plus près possible du dispositif anti-retour de façon à ne pas renforcer les hésitations que manifestent en général les poissons à l'entrée du bassin de capture.

#### ■ Bassin (ou cage) de capture et de stabulation

Le dimensionnement des structures repose sur la prise en compte de plusieurs critères : volume d'eau minimal disponible par poisson lors de l'affluence maximale dans l'ouvrage, vitesses d'écoulement, dimensions minimales de la structure (longueur, largeur, profondeur) liées à l'espèce.

*On choisira un volume d'eau d'environ 15 litres par kg de poisson stabulé, soit 5 à 15 litres par individu pour la truite, 80 à 150 litres pour le saumon et la truite de mer, et environ 30 litres par individu pour l'aloise.*

*Les dimensions minimales de la structure sont les suivantes (longueur x largeur x profondeur) :*

- saumon :	2.5 m x 1.5 m x 1 m (3.75 m <sup>3</sup> )
- truite :	1.5 m x 1.0 m x 0.8 m (1.2 m <sup>3</sup> )
- aloise :	5.0 m x 2.5 m x 1.5 m (18.7 m <sup>3</sup> )

Le dispositif de piégeage est en général constitué de grilles formant nasse anti-retour. Une vitesse minimale de 0.6 m/s à 1 m/s doit être maintenue dans l'orifice d'entrée pour y attirer le poisson. On peut augmenter son efficacité "anti-retour" en disposant dans cet orifice des baguettes verticales articulées jouant le rôle de clapet. Elles devront être suffisamment légères pour ne pas gêner l'entrée du poisson. Les principaux critères à prendre en compte pour le dimensionnement des pièges à cuve intégrée sont rapportés sur les figures 7.4 et 7.5. Pour les ascenseurs à concentration mécanique des poissons où les grilles articulées font office à la fois de nasse et de grille de concentration (Fig. 7.6 et 7.7), l'écartement des grilles en position de capture est de l'ordre de 30 à 40 cm.

*La vitesse maximale d'écoulement, fonction des espèces est de 0.3 m/s à 0.6 m/s.*

### ■ Cuve de relevage

*On adoptera un volume minimal de l'ordre de 6 l/kg de poisson remonté, soit 2 à 6 l/individu pour la truite, 30 à 60 l/individu pour le saumon et la truite de mer et environ 10 l/individu pour l'aloise.*

*Les dimensions minimales de la cuve devront tenir compte de la taille des poissons remontés. Pour le saumon et la truite, on adoptera respectivement des longueurs minimales de 1.5 m et de 1.0 m et des profondeurs minimales de 0.3 m et 0.2 m. Pour l'aloise, c'est toujours le critère de volume qui en déterminera les dimensions.*

Pour les cuves de petite taille (300 l à 800 l) des ascenseurs à salmonidés, le déversement de la cuve se fait facilement par basculement. Dans les cuves de grand volume, il est nécessaire de prévoir une vanne de vidange. On veillera particulièrement à la concevoir de façon à minimiser les risques de blessures (angles arrondis, absence d'aspérités...). La structure de la cuve sera par ailleurs prévue pour guider les poissons vers la vanne de vidange (fond en pente, pans coupés latéraux) et éviter la mise à sec des poissons en fin de vidange. Il est préférable de minimiser la hauteur d'eau et donc d'accroître la surface de la cuve de façon à réduire la vitesse de sortie de l'eau et des poissons lors de l'ouverture de la vanne de vidange.

### ■ Grilles de confinement et de concentration

La nature et la porosité des diverses grilles servant à l'injection du débit d'attrait, au confinement des poissons dans la structure de piégeage et de stabulation ou à la concentration des poissons au-dessus de la cuve, sont à déterminer en fonction des espèces de poissons et de leur taille (de façon à en empêcher le passage ou le coincement dans la grille) et en fonction des contraintes d'entretien (nettoyage - manutention). Pour empêcher le coincement des poissons, les grilles à maille carrée ou rectangulaire ou les grilles à barreaux de section rectangulaire sont préférables aux grilles à barreaux de section circulaire.

*On choisira un écartement interbarreaux (e) inférieur de 5 mm environ à la largeur de la tête des plus petits individus à confiner :*

*e = 2.5 cm à 3.5 cm, pour les poissons de taille supérieure à 30 cm,*

*e = 2.0 cm à 2.5 cm, pour la truite,*

*e = 2.5 cm, pour la lamproie,*

*e = 0.5 cm, pour l'anguillette de montaison.*

*La surface de grille devra respecter le critère habituel de vitesse d'injection de débit d'attrait complémentaire dans les passes ( $V_{max} < 0.30$  m/s à 0.40 m/s).*

*La vitesse de translation de la grille de concentration mécanisée est de l'ordre de 5 à 15 m/mn.*

### ■ Déversement des poissons à l'amont

Le déversement de la cuve dans le plan d'eau ou dans le canal de transfert doit se faire dans une zone suffisamment profonde et large pour éviter les chocs sur les parois ou sur le fond. Le point de déversement sera choisi de façon à prévenir l'entraînement dans les turbines ou dans les déversoirs de crue des poissons aux capacités de nage réduites. On cherchera également à éviter les zones de recirculation ou les tourbillons qui risquent de désorienter le poisson.

Si une goulotte est nécessaire pour guider le poisson en sortie de cuve, elle devra être parfaitement lisse et de préférence de section circulaire. Une longueur d'une dizaine de mètres n'a pas posé de problèmes sur les ascenseurs actuellement en service. Pour éviter de blesser ou choquer le poisson, la hauteur de chute entre le point de déversement et le plan d'eau ne doit pas excéder 5 mètres.

Le canal de transfert doit être suffisamment large et profond pour ne pas occasionner de perturbations dans le comportement des poissons. *On adoptera une largeur minimale de 0.5 m pour la truite, 1 m pour le saumon et 1.5 m pour l'alose. La vitesse de l'écoulement doit inciter le poisson à remonter tout en restant bien en deçà des capacités de nage de l'ensemble des espèces susceptibles d'emprunter l'ouvrage. On adoptera des vitesses comprises entre 0.3 m/s et 0.6 m/s.*

Si le marnage est important ou si la configuration du barrage rend problématique l'alimentation de ce canal par gravité à partir du plan d'eau amont, il est possible d'utiliser un canal suspendu au-dessus de la retenue et alimenté par pompage. Un dispositif particulier ("faux déversoir") est nécessaire pour permettre au poisson de regagner le plan d'eau amont. Un tel dispositif est installé à l'ascenseur de Castet sur le Gave d'Ossau.

## 2.3 Dimensionnement et fonctionnement

La durée du cycle doit être adaptée à la nature de la migration. Pour les salmonidés migrant seuls ou en petits groupes d'individus, la phase de capture dure de une à quelques heures ; pour les aloses dont la migration s'effectue en bancs assez denses, la durée totale du cycle au moment du pic de remontée doit être la plus courte possible (10 à 30 minutes).

*Les dimensions du bassin de stabulation et de la cuve seront déterminées en fonction du nombre maximal de poissons (N.) pouvant se présenter dans l'ouvrage durant le cycle le plus bref que peut assurer l'installation en se basant sur les critères de volume définis précédemment [99 ; 115].*

$N_c$  dépend à la fois du rythme naturel de migration et de la fréquence de remontée de l'ascenseur. Pour l'appréhender, il est donc particulièrement important de disposer d'informations sur les rythmes de migration (pic de passage journalier par rapport à la migration annuelle et pic horaire au sein de cette journée) et de déterminer à l'avance la fréquence maximale de remontée de la cuve que pourra assurer l'installation.

Les volumes nécessaires pour le bassin de stabulation et la cuve sont donnés par la formule:

$$V = C + N_c V_{min}$$

où :

$N_c$  est le nombre maximal de poissons de l'espèce la plus abondante en stabulation durant un cycle,

$V_{min}$  est le volume requis par poisson de l'espèce la plus abondante,  $C$  est un coefficient de correction tenant compte de la présence des autres espèces.

A titre d'exemple, pour l'alose américaine (*Alosa sapidissima*) et, semble-t-il, pour la grande alose (*Alosa alosa*), le paramètre  $N_c$  est obtenu en considérant que le pic journalier d'abondance correspond à 10% de la migration annuelle et que le pic horaire au cours de cette journée est de 15% de l'abondance journalière. Connaissant la taille de la population migrante ( $N_i$ ), et la durée minimale d'un cycle ( $d$ , en minutes), on obtient  $N_c$  par la formule :

$$N_c = (N_i \times 0.1 \times 0.15 \times d) / 60$$

## 2.4 Maintenance et entretien

En tant qu'ouvrages "mécaniques" pourvus d'organes mobiles et de grilles partiellement ou totalement immergées, les ascenseurs à poissons présentent des contraintes et des coûts de fonctionnement plus importants que ceux des autres types de passe.

Les principales contraintes résident dans la surveillance régulière (fréquence quotidienne à hebdomadaire) de la fonctionnalité des divers mécanismes, dans l'entretien des organes mécaniques et électromécaniques (treuils, vannes, grilles, automates) et dans le nettoyage des grilles.

Ces contraintes et les coûts afférents dépendent étroitement du type d'ascenseur, du site et de la qualité des matériels utilisés. Pour minimiser les charges d'exploitation, plusieurs points sont importants à considérer dans la conception et la construction des ascenseurs :

- choisir un matériel rustique et robuste sans sophistication superflue des automatismes (type "matériel agricole"),
- protéger contre la corrosion les pièces métalliques immergées ou partiellement immergées. A ce titre, la métallisation s'avère en général supérieure à la galvanisation,
- assurer une protection efficace de la prise d'eau du débit d'attrait contre les corps dérivants, de façon à limiter au maximum le colmatage des grilles et/ou de la nasse de capture. On plantera pour cela la prise d'eau dans une zone exempte d'accumulation de débris et on installera au droit de cette prise une grille de porosité inférieure à celle des grilles de l'ascenseur équipée, si besoin est, d'un dégrilleur,
- prévoir des facilités de nettoyage et d'entretien des grilles : grilles amovibles, vannes et pompe d'exhaure pour l'assèchement du bassin de capture,

A l'expérience, les ordres de grandeur des charges d'entretien et de fonctionnement des ascenseurs installés en France sont les suivants :

- petits ascenseurs à salmonidés (dispositif de capture intégré à la cuve) : les frais d'entretien et de surveillance courants sont de l'ordre de 1 000 F à 5 000 F/an (matériel). La main d'œuvre correspondante est de 5 à 10 hommes-jours/an. Les contraintes de nettoyage sont variables suivant les sites. A l'ascenseur de Poutès (Allier), où le colmatage est peu important, elles représentent 2 à 5 hommes-jours/an,
- gros ascenseurs (à concentration des poissons mécanisée) : les coûts de matériel nécessaire à l'entretien et à la surveillance courants varient de 5 000 F à 30 000 F/an, et les charges en personnel correspondantes vont de 10 à 60 hommes-jours/an. Les contraintes de nettoyage représentent 10 à 20 hommes-jours/an sur un site à colmatage limité (Golfech sur la Garonne) et 30 à 45 hommes-jours/an sur un site où le colmatage est plus important (Tuilières sur la Dordogne).

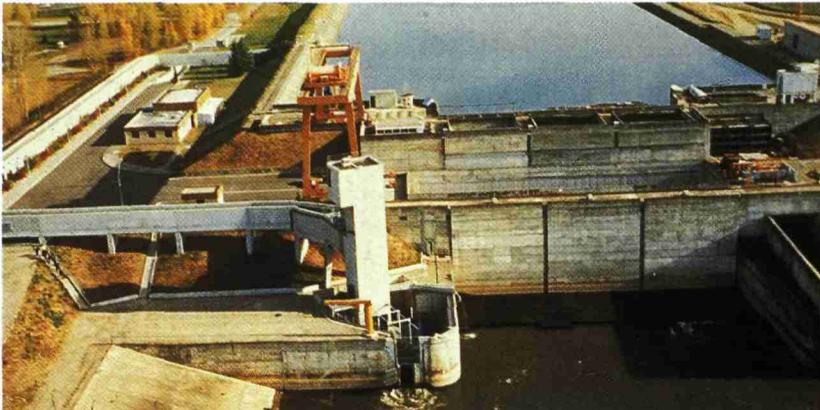
Ces coûts sont donnés à titre indicatif car ils s'appuient sur des réalisations françaises récentes et n'intègrent pas le comportement à long terme de ces installations.

Par rapport à ces coûts d'entretien, les coûts d'énergie nécessaires au fonctionnement peuvent être considérés comme faibles : consommation d'environ 0.1 à 0.2 kwh pour une remontée de petit ascenseur à salmonidés, et de 6.0 à 7.5 kwh par remontée d'ascenseur à grosse capacité sur une dénivelée de 10 mètres.

## 2.5 Avantages et inconvénients des ascenseurs à poissons

Les principaux avantages des ascenseurs à poissons par rapport aux autres types de passes résident dans leur coût, pratiquement indépendant de la hauteur de la chute à franchir, dans leur faible encombrement, et dans leur moindre sensibilité aux variations du plan d'eau amont. Ils peuvent par ailleurs s'avérer plus efficaces pour certaines espèces qui présentent des difficultés à emprunter les passes classiques, comme l'aloise ou le sandre. C'est la prise en compte de ce dernier facteur qui a conduit au choix d'un ascenseur pour les sites de Golfech sur la Garonne et de Tuilières sur la Dordogne : les comptages de poissons effectués ces dernières années ont d'ailleurs montré que la totalité des espèces présentes dans le cours d'eau les empruntaient, alors que le sandre par exemple est très rarement observé dans les autres types de passes. Un tel dispositif sur le barrage d'Holyoke (rivière Connecticut) a démontré son efficacité pour l'aloise américaine alors que sur ce même cours d'eau la mise au point de passes à bassins efficaces pour cette espèce a rencontré de nombreuses difficultés.

Les principaux inconvénients résident dans les contraintes d'exploitation, dans les coûts de fonctionnement plus élevés et dans une disponibilité moins grande que celle des passes statiques (probabilités de pannes du dispositif). Par ailleurs, l'efficacité des ascenseurs pour les espèces de petite taille (anguille) est en général partielle du fait de l'impossibilité à utiliser, pour des raisons d'exploitation, des grilles suffisamment fines. ■



Vue générale de l'ascenseur à poissons de Golfech (Tarn et Garonne)

# LE FRANCHISSEMENT DES BUSES, DES SEUILS EN ENROCHEMENTS ET DES OUVRAGES ESTUARIENS

## 1 LE FRANCHISSEMENT DES BUSES PAR LES POISSONS MIGRATEURS

### 1.1 Problèmes posés à la migration du poisson par les buses

Les buses (circulaires, elliptiques, ovoïdes, buses-arches) et ponceaux (dalots, ouvrages voûtés, ponts-cadres), constituent une alternative intéressante - coûts de construction et de maintenance - aux ponts classiques pour le rétablissement des écoulements naturels lors des aménagements routiers ou autoroutiers.

En se substituant localement au milieu naturel, ces ouvrages modifient le substrat, les conditions d'éclairement et le régime d'écoulement des eaux.

Vue du débouché aval d'une buse illustrant les problèmes posés à la migration du poisson : chute à l'aval, vitesse élevée et tirant d'eau insuffisant dans l'ouvrage



Ils peuvent constituer des obstacles sérieux à la migration des poissons : vitesses trop fortes à l'intérieur de l'ouvrage (pouvant atteindre de 3 m/s à 4 m/s), tirants d'eau insuffisants, chutes importantes à l'extrémité aval, enfin accumulation de débris représentent les causes de blocage des migrateurs les plus fréquentes.



Obstacle à la migration constitué par un pont-buse sur un ruisseau en Haute-Loire

Dès que la pente devient significative, l'écoulement subit une accélération brutale en tête de l'ouvrage. Compte tenu de la faible rugosité, les vitesses atteignent rapidement des valeurs importantes (l'écoulement pouvant même devenir torrentiel) et à peu près constantes tout au long de l'ouvrage : cette uniformité du champ des vitesses exclut toute zone de repos pour le poisson qui doit franchir la buse d'un seul trait. Lors des périodes de basses eaux, la profondeur d'écoulement devient très faible, insuffisante pour permettre la nage efficace du poisson.

Le blocage du poisson peut également se produire à l'extrémité aval de l'ouvrage lorsqu'il existe une chute, ce qui arrive fréquemment. Ce fait est quelquefois intentionnel, mais résulte le plus souvent d'un mauvais calage de la buse par rapport au profil du cours d'eau. Il peut provenir aussi de l'abaissement du fil d'eau en aval, consécutif à l'installation de la buse si aucune mesure préventive (enrochements, seuils de contrôle) n'a été prise pour stabiliser le substrat.

Plus rarement, un mauvais calage de la tête de la buse peut se traduire par la création, dans le lit du cours d'eau en amont immédiat de l'ouvrage, d'une zone à fort gradient, infranchissable par le poisson.

## 1.2 Lignes directrices pour la conception et l'installation de buses franchissables

### ■ Exigences pour le passage du poisson

Dès que l'installation de la buse se traduit par la modification du régime hydraulique du cours d'eau, il convient de s'assurer que l'ouvrage ne fait pas obstacle au poisson.

Le fait qu'une buse soit franchissable ou non dépend des capacités de nage (en termes de vitesse de nage et d'endurance) des espèces présentes dans le cours d'eau et des conditions hydrauliques dans la buse en période de migration.

Les capacités de nage sont généralement représentées par des courbes empiriques donnant la distance franchissable par un poisson de taille donnée dans un courant de vitesse donnée.

A l'aide de cette information, les conditions hydrauliques (vitesses moyennes à ne pas dépasser compte tenu de la longueur de l'ouvrage) permettant le passage du poisson peuvent être déterminées et prises en compte pour le dimensionnement de la buse.

*Ces conditions doivent être satisfaites :*

- pour l'individu de référence (espèce migratrice et taille) ayant les plus faibles capacités de nage susceptible d'emprunter la buse,
- pour l'ensemble des conditions de débit rencontrées en période de migration.

Il convient donc, comme pour tout dispositif de franchissement, de préciser le régime hydrologique du cours d'eau pendant la période de migration.

Si l'on possède la courbe des débits classés, on fera en sorte que la buse reste franchissable entre l'étiage et un débit qui n'est dépassé que 5% à 10% du temps dans l'année.

En l'absence de ces données, ce qui est le cas le plus fréquent sur les petits cours d'eau, on rendra la buse franchissable jusqu'à des débits voisins de 2 à 2.5 fois le module interannuel.

Outre certaines vitesses à ne pas dépasser, il conviendra de conserver une hauteur d'eau minimale dans la buse pour permettre le passage en étiage des plus gros individus, soit un minimum de 0.15 m pour la truite et de 0.30 m environ pour le saumon et la truite de mer.

### ■ Critères de conception et d'installation d'une buse franchissable

La forme de la buse détermine dans une certaine mesure les paramètres hydrauliques (hauteur d'eau, vitesse) qui conditionnent le passage du poisson. Les ouvrages à large fond (buses-arches, buses carrées, ponts-cadres) permettent de conserver une section de passage importante, relativement proche de celle du lit naturel. Ainsi, dans ce type d'ouvrage, à rugosité égale, la mise en vitesse sera moins importante que dans une buse circulaire. De plus, si la taille et les conditions d'installation de la buse (pente modérée, calage sous le lit naturel) le permettent, des graviers ou des galets, constituant une rugosité supplémentaire, pourront se déposer sur le fond et contribuer ainsi à réduire encore la vitesse de l'eau. Cependant, les buses circulaires et elliptiques s'avèrent à l'inverse préférables quand il s'agit d'assurer une profondeur d'eau minimale pendant la période d'étiage.

L'ouvrage est dimensionné pour évacuer des débits d'une durée de retour généralement importante (100 ans pour les autoroutes, de 25 à 100 ans pour les routes). La vitesse de l'eau dans la buse est calculée (formule de Manning-Strickler) pour le débit maximal considéré pour la période de migration en prenant en compte les caractéristiques de l'ouvrage (dimensions, forme de la section, rugosité, pente).

Considérant les critères de passage pour la ou les espèces concernées envisagées, on détermine ainsi si le dimensionnement et le calage de l'ouvrage se révèlent compatibles avec le passage du poisson.

Si les critères de passage ne sont pas satisfaits, il existe plusieurs solutions pour y remédier :

- la meilleure solution consiste à substituer à la buse conventionnelle un ponceau ou une buse-arche dont les caractéristiques hydrauliques s'apparentent davantage à celles du cours d'eau naturel. On choisit un ouvrage d'une dimension suffisante pour maintenir une largeur et une section d'écoulement comparables à celles du cours d'eau pour les débits en période de migration.

L'ouvrage est installé à la pente moyenne du cours d'eau sur le site, positionné au-dessous du lit du cours d'eau à l'amont comme à l'aval et rechargé avec des matériaux de la même granulométrie que ceux composant le lit. Cela revient en quelque sorte à reconstituer le lit du cours d'eau naturel à l'intérieur de l'ouvrage [49]. Il convient de vérifier que les matériaux composant la couche de surface sont suffisamment gros pour rester en place lors des crues. L'installation d'une buse franchissable par conception conduit généralement à un surdimensionnement de l'ouvrage par rapport aux stricts critères hydrauliques ;

- on peut également réduire la vitesse dans l'ouvrage jusqu'au niveau adéquat en jouant sur la taille de la buse et/ou sur la pente du radier. Cette solution se traduit généralement, comme dans le cas précédent, par un surdimensionnement de la buse. Il faut éviter cependant de caler l'ouvrage à une pente beaucoup plus faible que celle du cours d'eau, ce qui conduirait, soit à faire déboucher l'ouvrage au-dessus du lit naturel en aval (création d'une chute), soit à creuser le lit du cours d'eau en amont (création d'un tronçon à forte pente), conséquences également préjudiciables au passage du poisson ;
- enfin, on peut installer à l'intérieur de l'ouvrage des rugosités artificielles, des déflecteurs, des plots, voire une passe à poissons classique.

Pour maintenir en permanence une profondeur d'eau minimale, en particulier en période d'étiage, le radier de la buse doit être placé à une trentaine de cm [118 ; 27 ; 20] sous le niveau du lit naturel (Fig. 8.1).

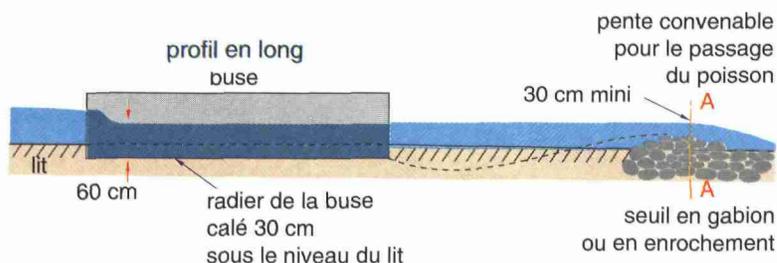


fig. 8.1

**Schéma illustrant le principe de l'implantation d'une buse avec noyage de son entrée par un seuil de contrôle en enrochements**



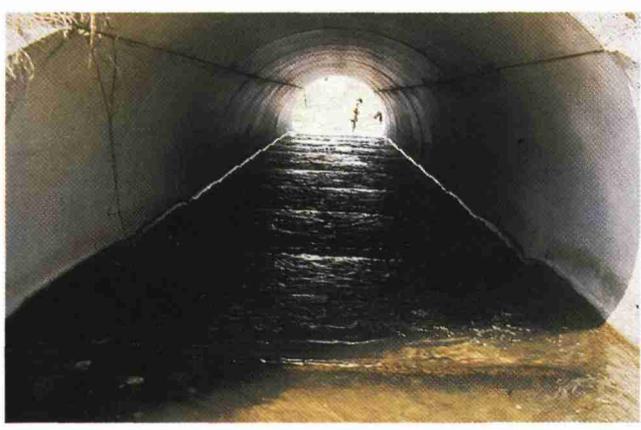
Des protections de berges et un bassin de dissipation doivent être aménagés en aval de la buse. Ces aménagements sont destinés :

- à fournir aux poissons une zone de repos avant le passage dans la buse,
- à assurer un tirant d'eau minimum dans la partie aval de la buse (entrée du poisson) et à supprimer toute chute et accélération à l'entrée de la buse,
- à contrôler l'érosion en aval de la buse en dissipant l'énergie résiduelle de l'eau en sortie et à prévenir ainsi l'abaissement de la ligne d'eau.

Le bassin doit être d'un volume suffisant pour assurer une dissipation correcte de l'énergie sans turbulence ni aération excessives pour le poisson. Il peut être construit en béton ou mieux, en enrochement, solution plus souple qui s'adapte aux évolutions éventuelles du lit.

Il convient de prévoir à l'aval de ce bassin un seuil de contrôle calé à une cote telle qu'il maintienne par noyage le niveau d'eau à une trentaine de centimètres au moins au-dessus du radier de la buse dans sa partie terminale afin d'éviter une accélération ou une chute. Dans certains cas, par mesure préventive ou pour remédier à une chute trop importante à l'extrémité aval, il peut s'avérer désirable, voire nécessaire, de construire plusieurs seuils de contrôle (prébarrages) sous l'ouvrage. Leur nombre dépend de la topographie. On divise la chute infranchissable en plusieurs petites chutes négociables par le poisson. Le dispositif se comporte comme une passe à poissons auquel on peut appliquer les critères de conception classiques ; notamment la dénivellation entre seuils ne doit pas dépasser 0.25 m à 0.30 m.

Tous ces seuils constituant des prébarrages doivent, par ailleurs, être pourvus d'échancrures pour concentrer les faibles débits et permettre ainsi le passage des poissons en période d'étiage.



Seuils rectangulaires dans une buse-arche

### 1.3 Déflecteurs

L'expérience acquise en Amérique du Nord montre qu'il est de loin préférable de rendre la buse franchissable "par conception" plutôt que d'installer des dispositifs spéciaux (seuils, plots, déflecteurs) qui sont susceptibles d'induire des problèmes d'entretien sérieux et de réduire notablement, mais dans une proportion difficilement appréciable, les capacités d'évacuation de l'ouvrage [30 ; 20]. L'installation de tels dispositifs s'avère cependant souvent indispensable pour corriger les ouvrages existants sur lesquels la migration du poisson n'avait pas été prise en compte initialement. D'autre part, lorsque la pente de l'ouvrage devient importante, l'installation de rugosités artificielles ou de déflecteurs devient souvent nécessaire ; ils serviront également à limiter les vitesses dans l'ouvrage et à protéger le radier lors des grosses crues.

On décrira dans la suite les dispositifs les plus couramment utilisés et qui paraissent les plus intéressants, soit par leur simplicité d'installation, soit par leur efficacité.

#### ■ Cloisons déversantes à crêtes horizontales, à échancrures ou fentes (Fig. 8.2)

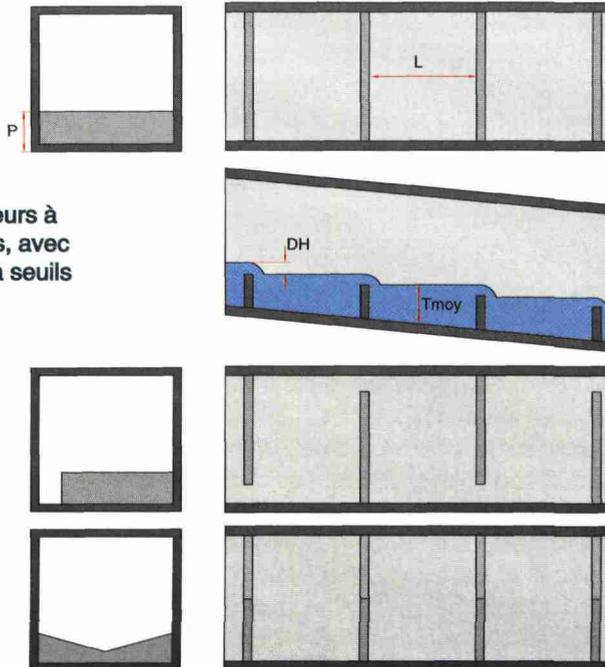


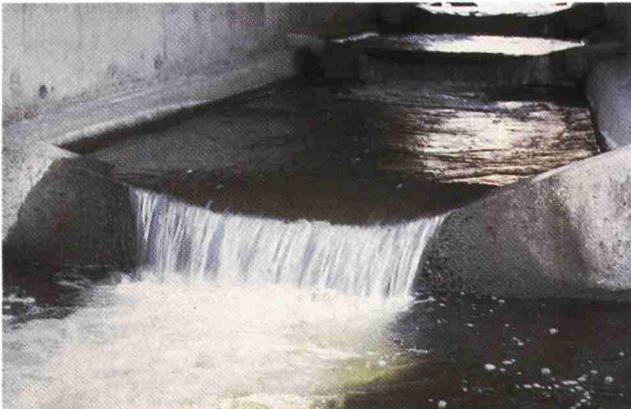
fig. 8.2

Système de déflecteurs à seuils rectangulaires, avec fentes alternées et à seuils triangulaires

On installe dans la buse ou le ponceau une succession de seuils occupant toute la largeur destinés à assurer un tirant d'eau suffisant en étiage et garantissant des vitesses acceptables pour des débits plus importants. Une échancrure centrale ou latérale (carrée, rectangulaire ou triangulaire), ou une fente allant jusqu'au radier, dimensionnée pour le débit d'étiage, facilite le passage du poisson en basses eaux [88 ; 89].

Ce dispositif est assimilable à une passe à bassins classique et il peut être dimensionné en utilisant les mêmes critères, en particulier sur les charges minimales à prendre sur les seuils en fonction des espèces migratrices considérées. Les précautions particulières à prendre sont les suivantes :

- on veillera à donner des hauteurs aux murets telles que les critères sur les profondeurs minimales ( $T_{min}$ ) (respectivement 15 cm et 30 cm pour la truite et le saumon) soient respectées en particulier dans la zone la moins profonde généralement située à l'aval immédiat des seuils,
- le tirant d'eau au pied de chaque chute doit être au minimum égal à 2 à 2.5 fois la chute entre bassins pour faciliter le passage du poisson,
- l'espacement des seuils doit être suffisant, (supérieur à  $8p$  dans la mesure du possible,  $p$  étant la hauteur des seuils). Si les seuils sont trop rapprochés, il se forme rapidement dès que le débit augmente des zones de recirculation participant peu à l'écoulement et peu dissipatrices d'énergie, l'écoulement passe alors rapidement en écoulement "quasi-lisse" de surface et à forte vitesse ("quasi-smooth flow" - [52]),
- la puissance dissipée volumique doit demeurer à un niveau acceptable (voir critères sur les passes à bassins).



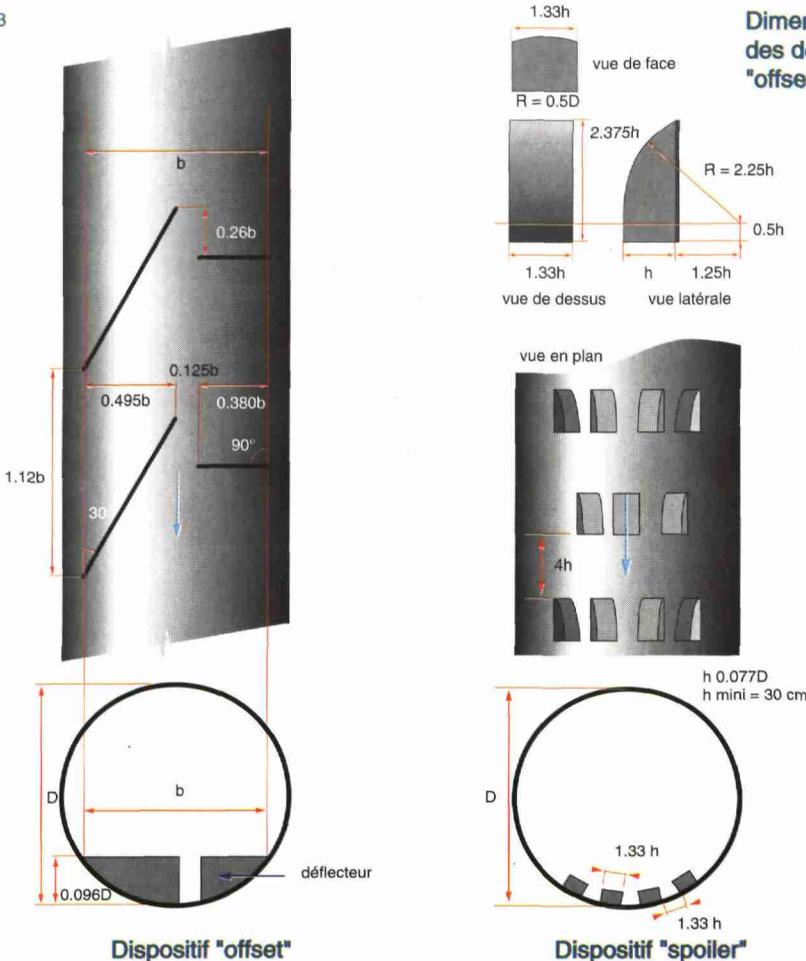
Seuils triangulaires  
dans un pont-cadre

**Cloisons déversantes à crête triangulaire (Fig. 8.2)**

Par rapport à la solution précédente, les seuils à crête triangulaire auront l'avantage de créer des conditions d'écoulement hétérogènes, le poisson pouvant choisir la zone de passage qui lui convient le mieux en fonction des conditions de débit. La pente des côtés du triangle est de l'ordre de 1/5 à 1/7. En étiage, l'écoulement occupera seulement la partie basse du triangle. Si, dans ces conditions, la charge amont (charge minimale  $H_{min}$ ) au-dessus de la pointe du triangle se révèle insuffisante pour assurer le passage du poisson, on concentrera, comme dans le cas des seuils horizontaux, ce débit dans une échancrure qui pourra être rectangulaire. Des critères de dimensionnement identiques aux seuils horizontaux peuvent être adoptés pour déterminer l'espacement et les hauteurs des cloisons.

**Dispositifs "offset" (Fig. 8.3)**

fig. 8.3



Cette configuration de déflecteurs a été largement utilisée au Canada et aux USA [72 ; 30 ; 92] où elle a été adaptée à toutes les sections de buses. L'inconvénient majeur de ces dispositifs, satisfaisants d'un point de vue piscicole, est qu'ils sont plus délicats à installer et plus coûteux compte tenu de leur inclinaison, de leur espacement réduit et, par conséquent, de leur nombre.

Les caractéristiques géométriques de ce système sont présentées sur la figure 8.3, dimensions et espacements étant donnés sous forme adimensionnelle en fonction de la largeur du canal.

Les seuils ont une hauteur minimale de 0.30 m. Pour les faibles débits, ce dispositif se comporte comme une passe à bassins à fentes verticales alors que pour les forts débits, l'orientation du muret latéral créant des courants hélicoïdaux, l'ouvrage se comporte comme une passe à ralentisseurs.



Déflecteurs de type "offset"

### ■ Dispositif "spoiler" (Fig. 8.3)

Ce système, étudié sur modèle réduit dans des buses circulaires [30 ; 50], se compose d'une série de blocs profilés, régulièrement espacés et disposés en quinconce d'une rangée à l'autre. La forme de ces déflecteurs a été étudiée pour réduire au maximum leur impact sur l'hydraulique de la buse ainsi que les risques de colmatage par les débris tout en assurant au poisson, dans les zones de décollement, des aires de repos suffisantes. La hauteur minimale des "spoilers" recommandée est de 0.30 mètres.

Il convient de vérifier que les vitesses des jets entre les “spoilers” restent compatibles avec les vitesses de nage des espèces concernées, la distance à franchir dans ces jets étant de l'ordre de 2.5 fois la hauteur des “spoilers”. KATOPODIS [30] donne la vitesse du jet-sous forme adimensionnelle en fonction de la pente en intégrant les résultats obtenus par ENGEL [30] sur modèle :

$$\frac{V}{\sqrt{gR_h}} = 7.97 I^{0.539}$$

où  $R_h$  est le rayon hydraulique de la buse non équipée de déflecteurs et  $I$  la pente de la buse.

Testé sur des buses circulaires, le système peut néanmoins être adapté aux buses elliptiques ou aux buses-arches en ajoutant latéralement des blocs supplémentaires. ENGEL [30] propose une expression permettant de calculer le nombre de blocs nécessaires sur la largeur :

$$N = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{7B}{H} \right)$$

où  $H$  est la hauteur et  $B$  la largeur de l'ouvrage.

L'inconvénient majeur de ce dispositif est le nombre important de blocs, l'espacement latéral de deux blocs étant égal à leur largeur. Il n'est d'autre part pas évident, en particulier dans le cas d'ouvrages elliptiques relativement larges, que le dispositif procure un tirant d'eau suffisant en étiage pour assurer le passage du poisson.

L'avantage des “spoilers” sur les autres dispositifs est qu'ils offrent moins de résistance à l'écoulement et sont moins sujets à l'engravement ou au colmatage par les corps dérivants.

## ■ Impact des déflecteurs sur l'écoulement

Tous les dispositifs précédemment évoqués ont été utilisés pour des pentes comprises entre 0.5% et 5% environ. Leur utilisation pour des pentes supérieures est à étudier avec soin.

Ils augmentent de façon notable le tirant d'eau dans l'ouvrage pour évacuer un débit donné, cette influence étant d'autant plus forte que le rapport tirant d'eau/hauteur des déflecteurs est important.

L'influence des seuils sur la capacité d'évacuation de l'ouvrage est liée à leur "rugosité", elle-même dépendante des rapports  $L/p$  et  $h/p$  (rapports de leur espacement et du tirant d'eau sur leur hauteur [105 ; 52]).

Pour une hauteur de seuil de 0.30 m et un rapport  $h/p$  de 6, le coefficient de Strickler ( $K$ ) peut varier de 35 à 65 suivant l'espacement des seuils ( $K = 35, 50, 65$  pour  $L/p = 7, 5$  et  $3.5$ ).

Pour un rapport tirant d'eau sur diamètre de buse ( $h/D$ ) compris entre 0.5 et 1, le dispositif "offset" (de hauteur  $p/D$  égale à 0.10) réduit respectivement le débit d'un ordre de grandeur de 55% à 45% [92]. ■

## 2 LE FRANCHISSEMENT DES SEUILS EN ENROCHEMENTS

Les besoins croissants en matériaux de construction et de viabilité ont entraîné dans les années 1965-1975 un développement important des exploitations de granulats dans les lits mineurs des cours d'eau. Ces exploitations abusives entreprises souvent sous prétexte "d'entretien" du cours d'eau, ont induit de profondes nuisances : abaissement des lignes d'eau, déstabilisation des lits, érosion des berges, ruines des ouvrages de protection, déchaussement des ouvrages d'art, abaissement des nappes.

De très nombreux seuils en enrochements ont été installés pour tenter de redonner un nouveau profil d'équilibre aux cours d'eau et localiser les zones à fort gradient. La hauteur de ces seuils peut varier de moins de 1.50 m à plus de 8 m.

Ils constituent le plus souvent des obstacles difficilement franchissables, sinon infranchissables, par les poissons migrateurs. Ces ouvrages sont le plus souvent installés perpendiculairement aux rives ; l'écoulement s'effectue de manière uniforme sur toute la largeur du seuil, la crête étant toujours horizontale. En eaux moyennes ou hautes, les vitesses sont trop importantes pour permettre le passage du poisson. La chute ne diminue généralement que très progressivement lorsque le débit augmente dans la mesure où les seuils pincent l'écoulement de façon à concentrer localement une dissipation d'énergie qui compense l'abaissement de la ligne d'eau. En étiage, l'eau percole à travers les enrochements, l'épaisseur insuffisante de la lame d'eau et sa vitesse rendant généralement difficile sinon impossible le passage des migrateurs.

Différentes solutions ont été envisagées pour rendre ces obstacles franchissables. Sur le Gave de Pau, certains seuils ont été équipés de passes à ralentisseurs utilisées également par les canoës-kayaks. Ce type de dispositif de franchissement s'est néanmoins révélé totalement inadéquat pour résoudre de façon satisfaisante ce genre de problème : il reste peu attractif compte tenu de la largeur des seuils et inadapté aussi bien aux espèces présentes sur le cours d'eau (de nombreux cyprinidés) qu'aux variations généralement notables du niveau d'eau amont.

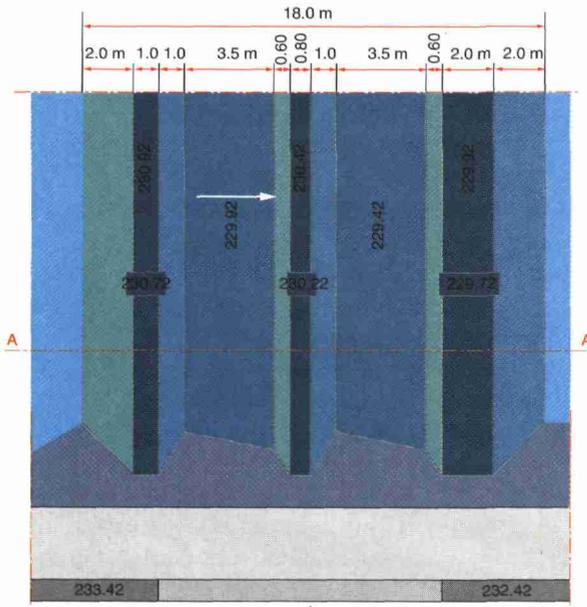
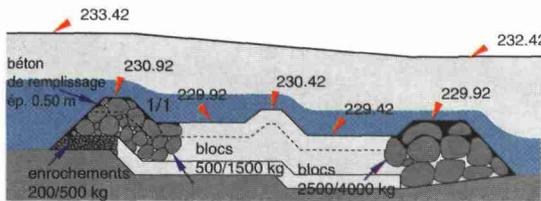
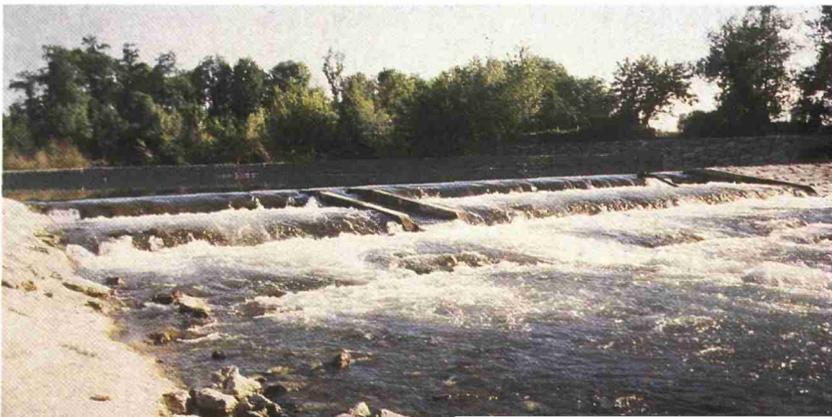


fig. 8.4

Seuils en enrochements en gradins sur l'Adour (Hautes-Pyrénées)



coupe A - A



Des passes à bassins à échancrure latérale et orifice noyé à gros débits (supérieurs à  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ) constituent une meilleure solution, plus attractive, mieux adaptée aux différentes espèces et aux fluctuations des niveaux. Elles sont cependant sujettes à l'engravement.

Sur l'Adour, plusieurs passes "rustiques" (chenal artificiel latéral à forte rugosité) à gros débits ont été installées en rive (seuil de Toulouzette). Elles nécessitent cependant, compte tenu de leur faible pente, un développement important qui rend leur implantation quelquefois difficile. Cette solution pourrait être adoptée chaque fois que possible pour l'aménagement des seuils existants.

La solution idéale (outre celle, évidente, consistant à ne plus tolérer de nouveau seuil) serait d'installer des seuils franchissables "par conception". Le principe serait :

- de réduire la hauteur de chute (1.00 m à 1.20 m au maximum),
- de donner à la crête un léger profil triangulaire (de l'ordre de 20 à 50 cm) pour concentrer le débit dans la partie centrale en étiage et limiter la charge sur les bordures en eaux moyennes ou fortes,
- de réduire la pente du coursier ( $<1/10$ ) de façon à réduire les vitesses ou d'installer des "redans" dans les profils du seuil, de telle sorte que l'ouvrage se comporte comme une série de prébarrages.

Le profil triangulaire permet d'obtenir des conditions hydrauliques (charges, vitesses, tirants d'eau) variables sur la largeur du seuil correspondant aux exigences des différentes espèces migratrices : les poissons de grande taille (saumon, truite de mer) s'accommoderont de vitesses plus fortes sur le coursier, mais auront besoin de tirants d'eau - et par conséquent de débits par mètre de largeur - plus importants que les espèces aux capacités de nage plus limitées.

Des essais ont été effectués de manière empirique sur certains seuils de l'Adour (Fig. 8.4). Une étude sur modèle réduit plus générale paraît indispensable.

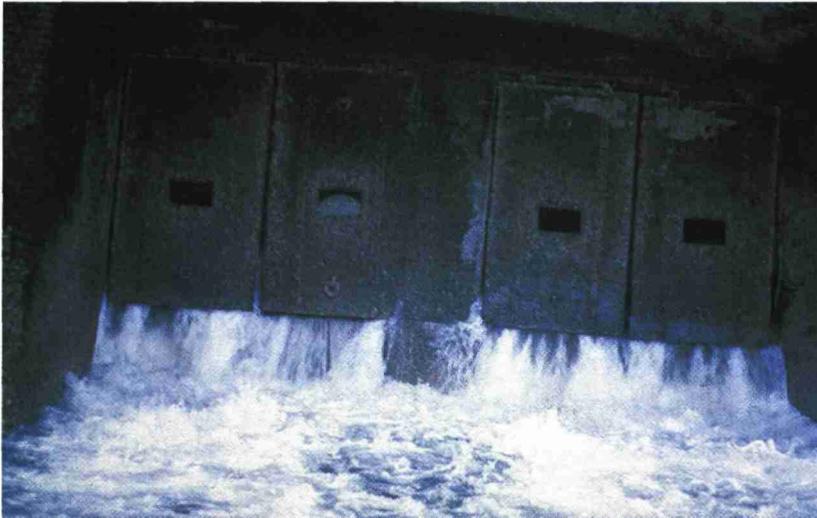
Ces solutions se traduiraient par une augmentation des coûts de construction des seuils, mais éviteraient par contre l'installation d'un ouvrage en béton s'intégrant difficilement dans la structure du seuil et générant le plus souvent des problèmes d'entretien et de maintenance importants.

### 3 LE FRANCHISSEMENT DES OBSTACLES ESTUARIENS ET COTIERS

Certains aménagements particuliers constituent des obstacles à la migration plus par leur fonction que par leur hauteur. C'est le cas des clapets à marée ou des barrages estuariens destinés à interrompre l'écoulement de la marée dans la partie basse des estuaires afin de limiter les inondations, ou encore des aménagements destinés à créer des bassins à flot. Dans ce type d'obstacle, l'écoulement se fait de la rivière vers la mer à marée basse, puis dès que le niveau de la marée dépasse celui de la rivière, les clapets ou vannes se ferment, le niveau côté mer pouvant alors s'élever de plusieurs mètres au-dessus de celui de la rivière.

Deux facteurs viennent singulièrement compliquer le problème à résoudre :

- les niveaux de part et d'autre de l'obstacle sont éminemment variables : le niveau aval, compte tenu de la marée, et le niveau amont, suite au stockage de l'eau douce à marée haute. L'importance des fluctuations aval dépend de l'importance des marées (coefficient de marée) et de la distance de l'obstacle à la mer,
- la modification du gradient de salinité qu'induit la présence de l'obstacle : au lieu de bénéficier d'un gradient de salinité favorable à une adaptation progressive au changement de milieu, les migrateurs se trouvent confrontés à un changement brusque dont les effets biologiques (stress, mortalité) et comportementaux (retards ou blocage de la migration) sont encore mal connus.



Clapets à marée sur l'Arques à Dieppe (Seine-Maritime)

De nombreuses rivières côtières de Seine-Maritime ont vu dès la fin du 19<sup>ème</sup> siècle leur estuaire disparaître suite au busage de leur exutoire en mer. Elles transitent dans un canal couvert équipé généralement d'un clapet à marée destiné à éviter l'inondation à marée haute de l'ex-zone d'estuaire aujourd'hui viabilisée [33]. Ces clapets sont constitués de un ou plusieurs épais panneaux de bois suspendus à une charnière horizontale.

Ces ouvrages constituent généralement un obstacle important à la migration des salmonidés : vitesses élevées dans les buses, mise en vitesse locale au niveau des clapets à marée basse, fermeture totale du clapet à marée haute interdisant le passage du poisson en amont.

Plusieurs solutions techniques ont été envisagées sur certains ouvrages particuliers. Les vitesses dans les buses peuvent être réduites en disposant des déflecteurs ou ralentisseurs sur le fond. Le passage au niveau des clapets peut être amélioré en ouvrant des "chatières" (ce qui a été fait sur certains ouvrages) d'une section suffisante ou en modifiant la conception des clapets.

Des essais sur modèle ont montré que le comportement des clapets (temps et degré d'ouverture) était très sensible à leur poids apparent, à la position de leur centre de gravité, au couple de rappel, etc. [43 ; 44]. Le passage des poissons peut être grandement facilité par le remplacement des clapets existants par des clapets plus légers et éventuellement des clapets monoblocs par des clapets à plusieurs éléments articulés.

Si les problèmes ont été identifiés et des solutions proposées, elles n'ont malheureusement pas encore été suivies de réalisation.

Récemment, il a été construit sur la Bresle, dans le port du Tréport, un bassin à flot comportant une écluse de navigation, un ouvrage de décharge constitué d'une vanne-clapet ainsi qu'un dispositif de franchissement. Quel que soit l'état de la marée, le poisson peut parvenir à l'entrée de la passe grâce à une série de trois prébarrages garantissant un niveau d'eau minimal au pied de l'ouvrage. Le niveau amont est maintenu à la cote 7.5, alors que le niveau aval - qui est celui de la mer - varie suivant l'état de la marée entre 4.20 et 10.00. Le dispositif de franchissement se compose de l'aval vers l'amont (Fig. 8.5) :

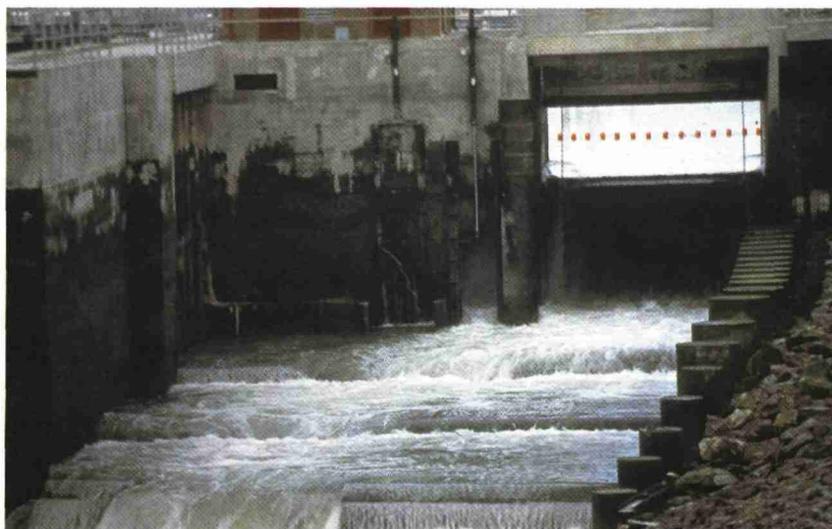
- d'une entrée basse, fonctionnant pour les niveaux aval compris entre 4.20 et 6.50, équipée d'une vanne asservie,
- de deux volées d'une passe à ralentisseurs à chevrons épais (pente 16%) amenant le poisson à la cote 6.75,
- d'une entrée haute, fonctionnant pour les niveaux aval supérieurs à 6.50, équipée d'une vanne asservie,
- d'une section de passe à bassins permettant aux poissons de regagner l'amont.

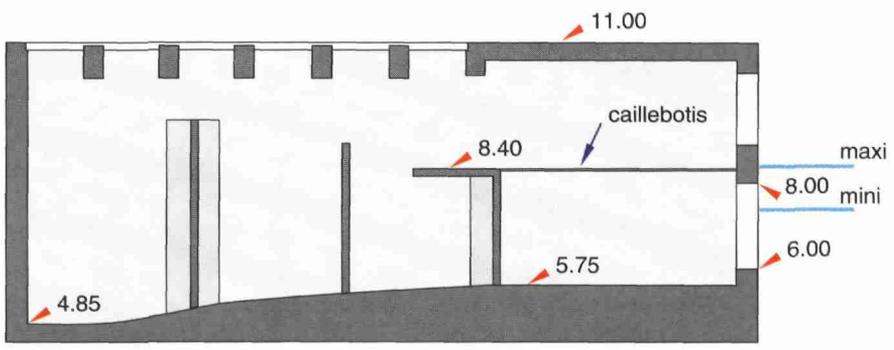
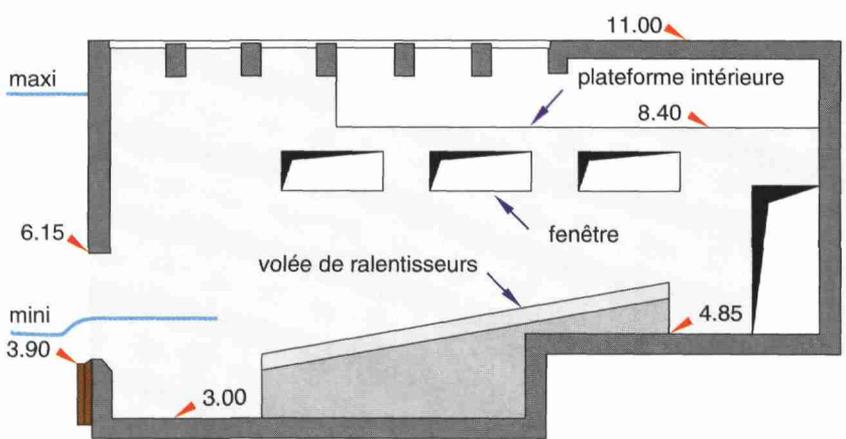
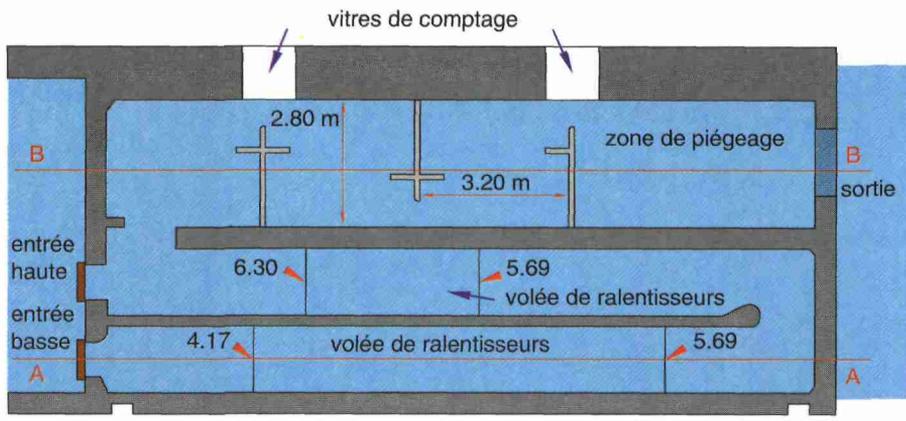
Dès que le niveau d'eau côté mer atteint 6.50, l'entrée basse se ferme et l'entrée haute s'ouvre, permettant au poisson d'accéder directement dans la passe à bassins.

Le dispositif peut fonctionner en sens inverse (de la mer vers la rivière) comme passe à orifices noyés tant que le niveau de la marée reste inférieur à la cote 9.50 [34 ; 45].

Après une année de fonctionnement, aucun impact global de la construction du bassin à flot et de son dispositif de franchissement n'a pu être constaté au niveau de la station de contrôle des migrateurs située quelques kilomètres en amont. ■

Vue générale du barrage estuarien du Tréport montrant les seuils permettant au poisson d'accéder à marée basse à l'entrée inférieure de la passe à droite, le clapet de décharge





Schémas de la passe à poissons estuarienne sur la Bresle

fig. 8.5

# LA CONCEPTION DES DISPOSITIFS DE FRANCHISSEMENT POUR LES ALOSES

## 1 INTRODUCTION

En France, jusqu'à ces dernières années, la plupart des passes à poissons se sont révélées inefficaces pour l'alose (*Alosa alosa*) et l'installation de barrages sur les cours d'eau à aloses s'est pratiquement toujours traduite par la raréfaction, voire la disparition, de cette espèce en amont. Ce phénomène n'est pas spécifique à la France : en 1923, un commissaire du Bureau des Pêcheries aux États-Unis écrivait au sujet de l'alose américaine (*Alosa sapidissima*) "qu'il était douteux qu'une alose remonte un jour une échelle à poissons quelle qu'elle soit" et jusqu'en 1955, sur le continent nord-américain, les seuls dispositifs jugés efficaces pour cette espèce étaient les deux passes gigantesques situées au barrage de Bonneville sur la rivière Columbia, passes d'une dizaine de mètres de largeur ayant coûté près de 10% du coût de l'aménagement hydroélectrique [19].

Il a semblé intéressant d'intégrer dans la suite l'expérience acquise pour les deux espèces (*Alosa alosa* et *Alosa sapidissima*), dans la mesure où toutes les observations effectuées, soit en France, soit en Amérique du Nord, indiquent que leur comportement migratoire est très voisin. ■

# 2

## CAPACITE DE NAGE ET COMPORTEMENT MIGRATOIRE DE L'ALOSE

### 2.1 Capacité de nage

L'alose est moins bonne nageuse que le saumon ou la truite de mer : les observations [116] montrent que des vitesses de l'ordre de 2 m/s constituent une difficulté majeure pour un certain nombre d'entre elles dès lors que la distance à franchir dépasse quelques dizaines de mètres.

Les vitesses de sprint ont pu être estimées lors d'observations sur le seuil de Saint-Laurent-des-Eaux sur la Loire [67] : à la température de 16°C-17°C, des vitesses variant de 3.1 m/s à 4.7 m/s suivant les individus pouvaient être soutenues pendant une durée voisine de 6.5 secondes. Les vitesses maximales de nage que l'alose ne pouvait soutenir que quelques secondes ont été estimées à des valeurs comprises entre 4.1 m/s et 6.1 m/s.

Ces chiffres sont à rapprocher de ceux concernant l'alose américaine. Des observations [119] ont été effectuées sur les distances nagées par plus de 800 individus dans un canal d'une trentaine de mètres de longueur, dans lequel les vitesses d'écoulement variaient de 3.5 m/s à 4.15 m/s. Aucune alose n'a pu franchir ce canal dans sa totalité. Les distances moyennes parcourues, lorsque la vitesse moyenne dans le canal était de 3.5 m/s, 3.85 m/s et 4 m/s, étaient respectivement de 9 m, 7.1 m et 5.7 m, et cela dans des conditions thermiques *a priori* favorables (21°C). A titre de comparaison, toutes les truites steelhead, dont les performances de nage sont comparables à celles du saumon atlantique, ont franchi sans problème toute la longueur du canal. D'après ces données, les vitesses maximales de nage pour la majorité des individus varieraient entre 4.3 m/s et 4.6 m/s, 10% des individus ayant des vitesses de sprint inférieures à 3.9 m/s ou supérieures à 4.9 m/s.

Si l'on adapte à l'alose des modèles semi-empiriques proposés par BEACH [5], on obtient, en paramétrant suivant la température, un faisceau de courbes qui concorde avec les observations effectuées sur le terrain. Les vitesses maximales de nage à 20°C varieraient de 4.0 m/s à 5.4 m/s suivant la taille des individus, l'endurance correspondante variant de 5 à 16 secondes. Pour des températures plus basses, les valeurs de la vitesse maximale de nage sont notablement réduites, se situant à 15°C entre 3.5 m/s et 4.3 m/s. La limite supérieure de la vitesse de croisière varierait suivant la taille de 0.80 m/s à 1.4 m/s.

Des vitesses de l'ordre de 3.5 m/s à 4 m/s sur quelques mètres constituent donc une barrière difficilement franchissable pour l'alose : or il suffit d'une dénivellation de l'ordre du mètre entre les niveaux amont et aval de part et d'autre d'un obstacle pour que ces vitesses soient atteintes : cela signifie que des seuils de hauteurs modestes peuvent constituer des obstacles sérieux à la migration de l'alose, surtout si l'écoulement se fait à "jet plongeant" comme on le verra par la suite.

## 2.2 Comportement migratoire

L'alose est un poisson de surface : il convient donc de lui offrir dans les dispositifs de franchissement un passage en surface.

Elle se déplace en bancs : il faut lui offrir les passages les plus larges possibles pour éviter de déstructurer ces bancs.

Le piégeage d'aloses dans un volume d'eau trop restreint, même de courte durée, peut entraîner des mortalités importantes.

L'alose semble rechercher les veines d'eau régulières à filets parallèles, même à vitesse importante. Elle semble éviter dans la mesure du possible les zones tourbillonnaires à forte turbulence et les eaux émulsionnées (remous à l'aval d'une chute, ressaut, aval des turbines) dans lesquelles elle évolue avec beaucoup plus de difficulté que les salmonidés.

L'alose ne saute pas comme le font la plupart des salmonidés et ne franchit généralement les obstacles qu'en nageant. C'est pourquoi elle éprouve de très grosses difficultés à franchir les écoulements à "jet plongeant", dans lesquels elle a tendance à être désorientée, se positionnant tête vers l'aval dans le contre-courant existant en surface.

Un certain nombre d'observations montrent que l'alose demeure facilement piégée dans les encoignures et dans les zones de recirculation engendrées par les décrochements des murs des ouvrages de franchissement ; ces observations ont aussi bien été effectuées sur l'alose américaine aux Etats-Unis que sur la grande alose en France [16]. En conséquence, il est important, dans la mesure du possible, de lui assurer un passage le long des parois en minimisant le volume des zones de recirculation, tout en évitant les phénomènes de court-circuit qui seraient préjudiciables au fonctionnement hydraulique de la passe.

Le comportement de l'alose dans les passes à poissons est caractérisé par des allers et retours fréquents ("fall-back activity") pouvant se traduire par la dévalaison d'un banc entier lorsque les poissons se trouvent piégés par des écoulements particuliers (zone de recirculation à axe vertical créée par un décrochement latéral ou un changement de direction de la passe ou à axe horizontal créé par un orifice noyé).

L'observation visuelle sur plusieurs sites ainsi que différentes études de radiopistage ont permis de mettre en évidence le fait que l'alose prospectait beaucoup moins activement que les salmonidés au pied d'un obstacle et qu'elle était susceptible de rester bloquée très longtemps dans une zone "attractive".

L'alose semble d'autre part très sensible aux variations brutales de luminosité : il paraît indispensable d'éclairer les tronçons souterrains et plus généralement les zones particulièrement sombres des dispositifs de franchissement. ■

### 3 LES PASSES A BASSINS

En prenant un certain nombre de précautions particulières, les passes à bassins successifs peuvent s'avérer efficaces pour l'alose.

L'écoulement doit être à "jet de surface", et non à "jet plongeant", le poisson s'orientant à partir de la configuration des courants de surface.

Les orifices noyés sont à proscrire, l'alose tendant à rester piégée dans les contre-courants situés en surface au-dessus des orifices : certaines sections de régulation par orifice noyé ont dû être abandonnées sur la côte Ouest des USA suite aux blocages et mortalités observés [78]. Des blocages d'aloses ont également été observés dans la section de régulation amont de la passe à ralentisseurs du Bazacle [21].

Le passage des poissons doit être assuré le long des parois, les échancrures centrales étant à éviter : il convient de prévoir au moins une fente ou échancrure latérale, le mieux étant d'assurer le passage de chaque côté du dispositif.

Il faut éviter, dans la mesure du possible, la présence de zones de recirculation importantes dans lesquelles le poisson aurait tendance à rester piégé (passes de Rainbow sur la rivière Farmington, Turners Falls sur la rivière Connecticut, Tuilières sur la Dordogne), en particulier dans les bassins où s'effectue un changement de direction de la passe, bassins qui sont généralement plus volumineux et d'une hydrodynamique bien particulière. Dans la mesure où il est difficile d'éliminer ces zones, il est possible d'en interdire l'accès au poisson à l'aide de grilles [24].

Les poissons se déplacent en bancs et il faut faire en sorte que la passe ne déstructure pas trop ces bancs ; il convient d'adopter des bassins de volume important et des passages les plus larges possibles.

Les échancrures ou les fentes doivent avoir une largeur minimale de 0.45 m à 0.50 m.

Les bassins doivent être suffisamment profonds (1.20 m au minimum) et peu turbulents : une puissance dissipée volumique de 150 watts/m<sup>3</sup> paraît être un maximum.

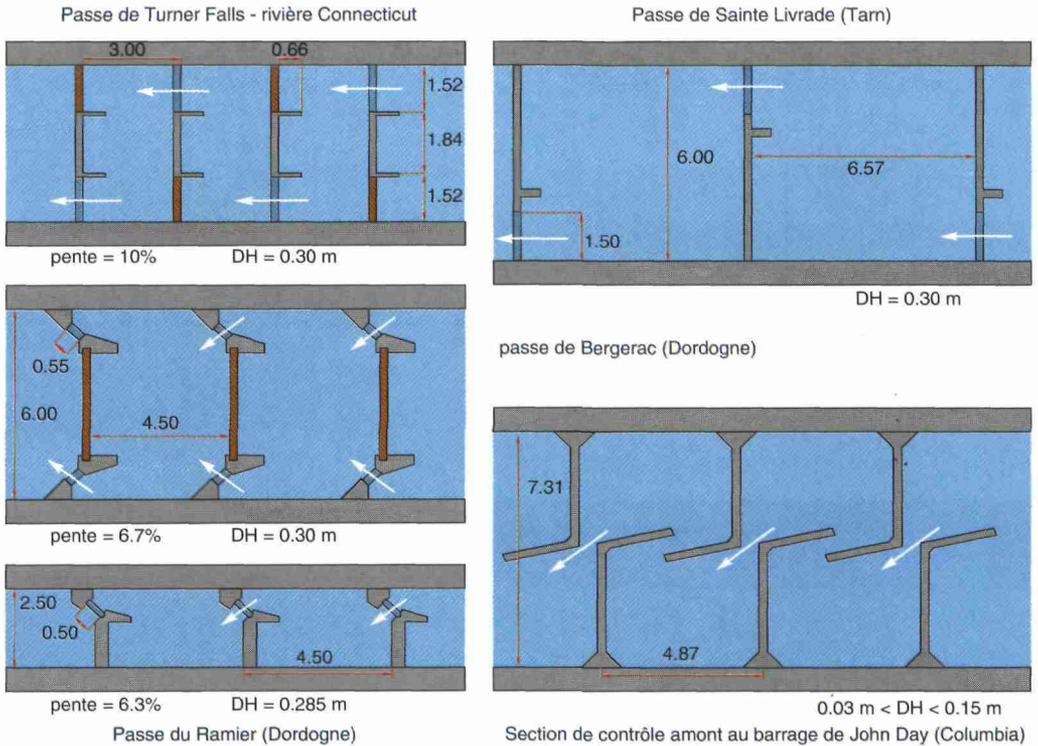
Les chutes ne doivent pas dépasser 0.30 m. Il est préférable d'utiliser des chutes inférieures (de 0.20 m à 0.25 m), chutes pour lesquelles il sera plus facile de créer des écoulements à "jet de surface" tout en conservant des passages relativement larges.

Si l'on cherche à respecter ces différentes contraintes, on aboutit généralement à des ouvrages larges, transitant des débits importants (supérieurs à 1 m<sup>3</sup>/s), le volume des bassins dépassant généralement une douzaine de m<sup>3</sup>.

On citera quelques exemples d'ouvrages qui se sont révélés efficaces pour l'alose (Fig. 9.1) :



Passé de Tuilières sur la Dordogne : un grillage interdit le piégeage des aloses dans les zones de recirculation et accélère leur passage en amont

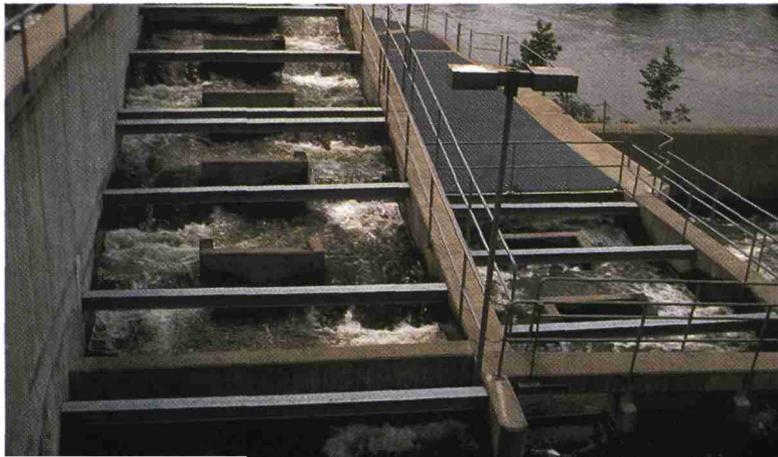


### Passes à bassins empruntées par l'aloise

fig. 9.1

- passes de type Ice Harbor sur les rivières Columbia (Bonneville, John Day...) et Connecticut (Turners Falls) aux USA, à condition de porter la charge sur les seuils à une quarantaine de cm de façon à tendre vers un écoulement de surface [95]. L'augmentation de la charge de 0.30 m à 0.40 m, dans le cas de bassins relativement courts, oblige à obturer une échancrure sur deux, en quinconce, de façon à éviter les phénomènes de court-circuit et diminuer la turbulence dans les bassins,

Passe de Turners Falls sur la rivière Connecticut : une échancrure sur deux a été obturée et la charge augmentée pour faciliter le passage de l'aloise



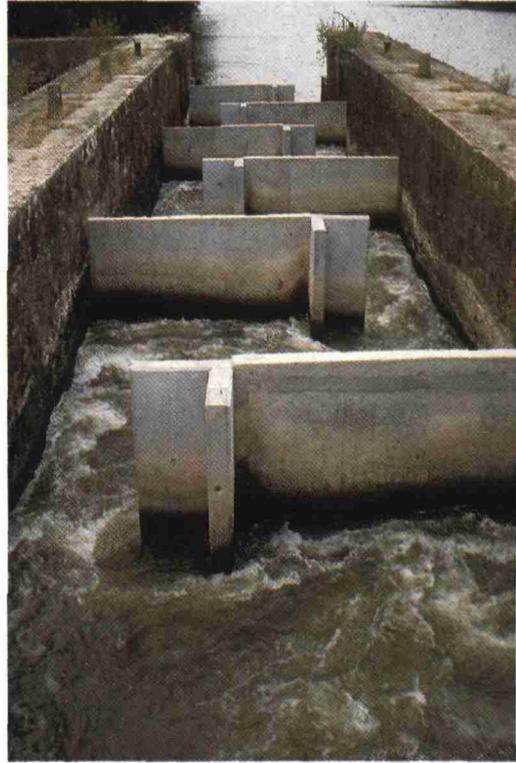
- passes à deux fentes verticales de 0.55 m de largeur (passe de Bergerac sur la Dordogne),



Visualisation sur modèle réduit de l'écoulement  
dans la passe à deux fentes verticales de Bergerac sur la Dordogne

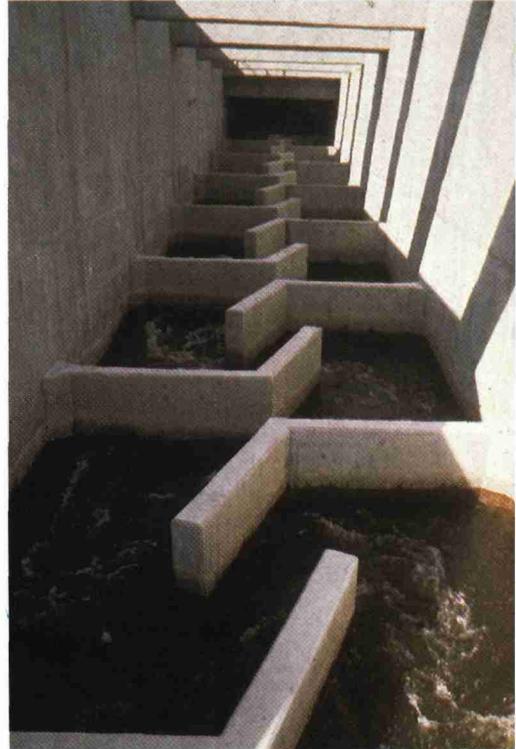
- passes à une fente verticale ou à échancrure latérale profonde, à condition d'adopter des largeurs de fentes suffisantes, de l'ordre de 0.45 m à 0.50 m (passes du Ramier sur la Garonne et de Sainte-Livrade sur le Tarn). Dans ce type de passe à fente verticale, il faut veiller à minimiser l'étendue des zones de recirculation en réduisant au maximum le rapport largeur/longueur des bassins et en veillant à orienter convenablement les jets dans les bassins vers le tiers aval de la paroi latérale. On cherchera à réduire autant que possible la hauteur des seuils dans les fentes.

Passe à échancrure latérale profonde sur le Tarn à Sainte Livrade (Tarn). Cette passe à gros débit, installée dans une ancienne écluse de navigation, se révèle efficace pour l'aloise



Section de régulation à fentes verticales de la passe de Vernon sur la rivière Connecticut

- passes à "chicanes", du type utilisé dans les sections de régulation de certains gros ouvrages : passe de Vernon sur la rivière Connecticut, Bonneville et John Day sur la rivière Columbia [78]. Le gros avantage de ce type de passe est la quasi-absence de zones de recirculation. Cela se traduit cependant par un ouvrage très volumineux, compte tenu de la faible chute acceptable (maximum d'une quinzaine de cm) entre chicanes successives. ■



## 4 LES PASSES A RALENTISSEURS

Bien qu'il existe, aussi bien en France qu'aux USA ou au Canada, plusieurs passes à ralentisseurs empruntées par l'aloise, il est cependant difficile de se prononcer de façon très tranchée sur l'efficacité de tels dispositifs pour cette espèce.

L'observation montre de façon évidente que l'aloise négocie beaucoup moins bien que les salmonidés les écoulements "en hélice" caractérisant les passes à ralentisseurs.

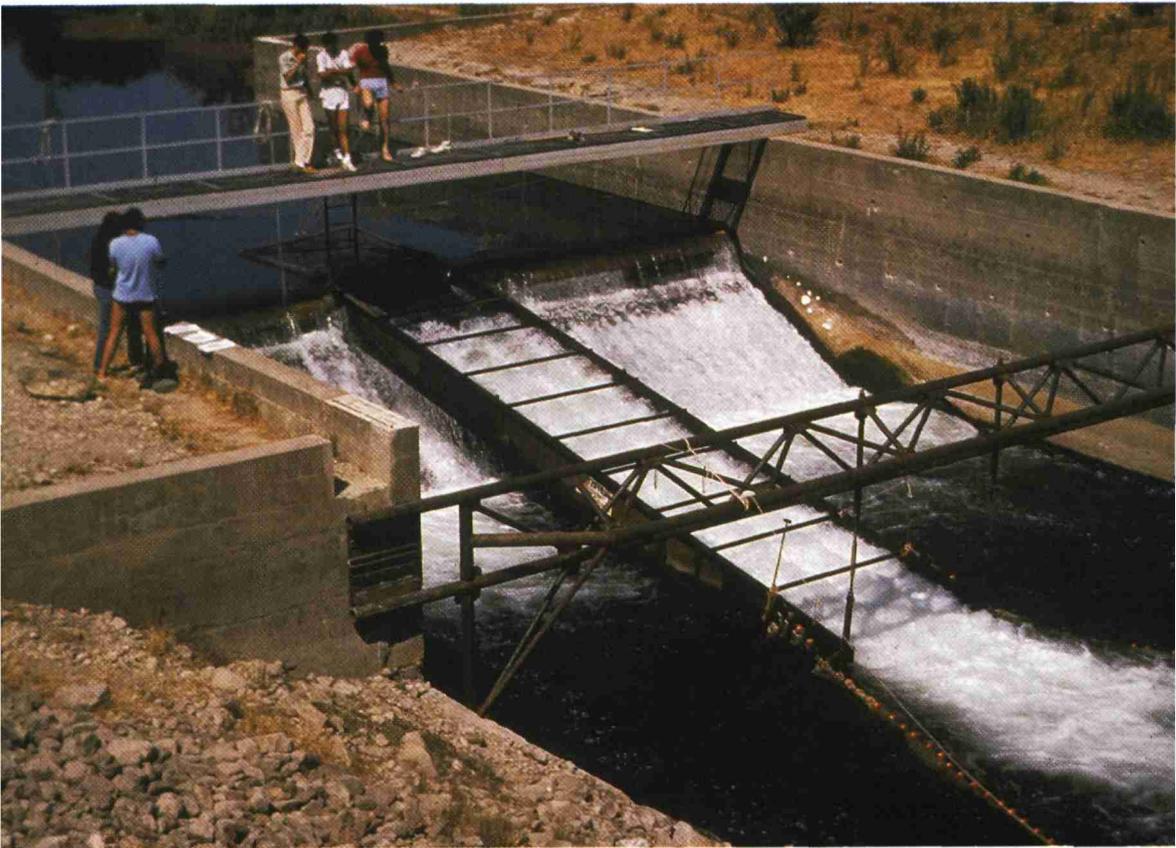
Plusieurs centaines d'aloses ont été contrôlées dans une passe à ralentisseurs plans (pente 13%, largeur 1.22 m, longueur 12 m) sur la rivière Narraguagus [19].

La passe à ralentisseurs plans de Beaucaire (deux volées de pente 8% et 10%, largeur 1.30 m, longueur totale 40 m) sur le Rhône s'est révélée très peu efficace pour l'aloise [16]. Le fait que cet ouvrage ne fonctionne pas ne peut être cependant attribué aux seules conditions hydrauliques dans la passe. On pourrait aussi expliquer en grande partie cet échec par les conditions de piégeage difficiles, par le passage en galerie et l'obscurité de la sortie de la passe, et surtout par l'attractivité problématique du dispositif (entrée située à 1500 m du point de blocage des migrateurs, débit complémentaire d'attrait très turbulent ne guidant pas le poisson vers l'entrée de la passe).

Chaque année plusieurs milliers d'aloses se présentent au pied du barrage du Bazacle à Toulouse, équipé d'une passe à bassins successifs à fentes verticales et d'une passe à ralentisseurs à chevrons épais comportant 3 volées d'une douzaine de mètres de longueur (pente 17%, largeur 1.50 m) [22 ; 23]. Les aloses empruntant la passe à ralentisseurs ne constituent cependant qu'un faible pourcentage (de l'ordre de 1%) des aloses franchissant le barrage, la grande majorité empruntant la passe à bassins successifs. La meilleure situation de l'entrée de la passe à bassins entre cependant pour une part sans doute significative dans la différence d'efficacité des deux dispositifs.

Sur un contre-canal du Rhône, une passe à ralentisseurs à chevrons épais (pente 16%, largeur 1.80 m, longueur 10 m, section de chevrons 0.10 m x 0.10 m) a été testée à titre expérimental [3]. Plus de 350 aloses l'ont franchie, pour des débits unitaires transitant dans la passe variant de 300 l/s/m à 750 l/s/m. L'efficacité était cependant très liée aux conditions à l'entrée de la passe : ce n'est que lorsque les aloses étaient guidées vers cette passe par un filet qu'elles l'empruntaient. En l'absence de filet, les observations ont montré que les aloses préféraient se tenir à l'écart des zones turbulentes situées à l'entrée de la passe.

Plusieurs tests ont été effectués pour comparer les efficacités respectives sur un même site de passes à ralentisseurs et de passes à bassins.



Expérimentation d'une passe à ralentisseurs à chevrons épais sur un contre-canal du Rhône : on aperçoit à l'aval le filet guidant les aloses vers l'entrée de la passe

Au Canada [Conrad, com. pers.], des expérimentations ont montré que des aloses utilisaient de préférence une passe à ralentisseurs plans plutôt qu'une passe à bassins installée à proximité ; ce résultat peut être attribué d'une part à la plus grande attractivité de la passe à ralentisseurs (débit beaucoup plus important), d'autre part à l'exiguïté de la passe à bassins, encore moins appropriée à l'aloise que la passe à ralentisseurs.

Des essais ont été effectués au laboratoire de Bonneville pour étudier la possibilité d'utiliser des passes à ralentisseurs afin d'orienter des migrateurs d'une passe à bassins vers un dispositif de détection de marques magnétiques [108]. La passe testée est une passe à ralentisseurs type Alaska (pente 24%, largeur 0.56 m, largeur libre 0.35 m, longueur 8 m) débitant au maximum 160 l/s à plein bord. Ces expérimentations ont montré que les aloses éprouvaient de façon générale beaucoup plus de répulsion que les salmonidés à s'engager dans l'ouvrage. Une forte proportion d'aloses franchissaient cependant la passe à la condition qu'un temps suffisant et que des conditions hydrauliques appropriées leur soient donnés en entrée et en sortie de la passe. En particulier, les résultats les plus significatifs ont été obtenus lorsque le poisson était guidé vers l'entrée de la passe par une grille inclinée. Lorsque le choix leur était offert entre une passe à bassins (à échancrure centrale et à "jet plongeant") et la passe à ralentisseurs, toutes les aloses et la majorité des salmonidés empruntaient cette dernière.

Ces résultats sur les efficacités comparatives des passes à ralentisseurs et des passes à bassins - toujours au profit des premières - sont à prendre avec beaucoup de prudence, car il s'agissait de passes à bassins de petites dimensions et surtout de passes à "jet plongeant" *a priori* peu favorables au passage des aloses : les résultats auraient sans doute été tout autres si les passes à bassins avaient été de plus grandes dimensions, à débit comparable à celui de la passe à ralentisseurs et surtout à écoulement à "jet de surface". ■

# 5 LES ASCENSEURS ET ECLUSES

Le piégeage d'aloses dans un volume d'eau trop restreint, même de courte durée, peut entraîner des mortalités importantes. C'est pourquoi, dans les ascenseurs [115], on piège l'aloise dans un bassin de stabulation de dimensions suffisantes (dimensions minimales de l'ordre de 5 m x 2.5 m x 1.5 m) en prévoyant un volume d'eau minimum (environ 30 l/aloise) pour chaque individu présent. Il est difficile d'envisager, comme pour les salmonidés, un piégeage dans une nasse sauf si celle-ci est de taille suffisante, du même ordre de grandeur que le bassin de stabulation.

On est donc amené à prévoir un système de concentration (grille montée sur un chariot mobile) amenant lors de l'opération de transfert le poisson au-dessus de la cuve. Cette cuve doit avoir un volume minimal calculé sur la base d'une dizaine de litres par aloise.

Le dimensionnement de l'ascenseur (que ce soit pour le volume du bassin de stabulation et de la cuve ou pour la fréquence maximale de remontée de la cuve) doit prendre en compte les pics horaires de migration de l'aloise qui peuvent atteindre 1.5% à 2% des passages totaux annuels.

L'espacement des barreaux des grilles de l'ascenseur doit être au maximum de 2.5 cm.

La plus grande partie du débit d'attrait (et la totalité si les vitesses le permettent) doit être délivré en amont de la cage. La vitesse de l'écoulement à l'entrée du dispositif anti-retour dans le bassin de stabulation doit être de l'ordre de 1 m/s.

La largeur minimale du canal assurant le transfert du poisson de l'ascenseur au plan d'eau amont doit être de 1.5 m et la vitesse de l'écoulement minimale de 0.30 m/s.

Les écluses "Borland" classiques sont à proscrire dans la mesure où leur efficacité est trop dépendante du comportement de l'espèce. On peut cependant envisager, dans le cas d'une chute réduite, et lorsque d'autres solutions paraissent difficilement envisageables, le recours à une écluse, à condition que son fonctionnement reste à surface libre (comme une écluse de navigation), en veillant à ce que le bassin de stabulation ait une longueur et un volume suffisants et en prenant soin de créer en phase de sortie un jet de surface suffisamment incitatif pour le poisson. ■

# 6

## ATTRAIT ET IMPLANTATION DES PASSES A ALOSES

Par rapport aux passes à salmonidés, il convient d'être beaucoup plus exigeant sur l'implantation de la passe, sur la position des entrées et sur la qualité de l'attrait au pied de l'obstacle (en termes de vitesses, de débit, et de conditions hydrodynamiques).

De façon générale, les aloses prospectent en effet beaucoup moins que les salmonidés. Si pour le saumon on peut souvent se contenter d'une seule entrée, il n'en va pas de même pour l'aloise. Dès que l'usine atteint une largeur d'une vingtaine de mètres, l'installation d'une galerie collectrice devient indispensable si l'on veut obtenir une efficacité suffisante. Dans le cas où il n'existe qu'une seule entrée, l'expérience montre que l'on est souvent obligé de "gérer" le fonctionnement des turbines pour faciliter l'accès de la passe aux aloses (cas des usines du Bazacle sur la Garonne et de Mauzac sur la Dordogne).

Les entrées principales doivent être situées le long des rives et les vitesses au niveau de ces entrées doivent rester importantes (de l'ordre de 2 m/s).

Il convient de mettre impérativement des grilles sur tout débit d'attrait complémentaire, ces grilles devant assurer non un blocage, mais un guidage du poisson vers l'échancrure ou la fente aval. ■

# 7 EFFICACITE DES PASSES A ALOSES

L'efficacité des passes pour l'alose est toujours moindre que pour les salmonidés. Si pour les salmonidés une efficacité de 90% à 100% est couramment obtenue, pour l'alose, une efficacité de 75% reste exceptionnelle, de 50% est excellente et de 10% à 20% fréquente.

Il est cependant difficile d'évaluer l'efficacité d'une passe, même dans le cas le plus favorable où l'on dispose de plusieurs obstacles en série équipés de dispositifs de franchissement : il est rare en effet qu'il n'existe pas de zones favorables à la reproduction entre les différents ouvrages.

Sur la rivière Merrimack (côte Est des USA), les deux premiers obstacles (Essex et Pawtucket) sont espacés d'une quinzaine de kilomètres ; le pourcentage d'aloses passant d'un ouvrage au suivant est en moyenne de 10%, il varie d'un minimum de 3% à un maximum de 23% [11].

Sur la Garonne, le pourcentage annuel d'aloses ayant transité par l'ascenseur de Golfech et empruntant la passe du Bazacle (située à une centaine de km en amont) a varié entre 1989 et 1991 de 17% à 32%. Le pourcentage d'aloses ayant franchi l'une des passes du Bazacle et la passe du Ramier située immédiatement en amont a été évalué par échantillonnage à plus de 70% en 1990 [21]. Ce pourcentage exceptionnel est lié à des conditions hydrologiques particulièrement favorables (débits très bas dans la Garonne) au cours desquelles les dispositifs de franchissement ont une attractivité optimale.

Sur la Dordogne, les passages d'aloses dans la passe à bassins de Mauzac varient de 0.5% à 30% de ceux observés dans l'ascenseur de Tuilières situé une quinzaine de kilomètres à l'aval. Cette variabilité importante s'explique en grande partie par l'hydraulicité de la Dordogne en période de migration (meilleurs passages par faibles débits) et par la perturbation plus ou moins importante selon les années apportée à l'attractivité de l'entrée de la passe de Mauzac par l'écoulement de la turbine Kaplan débouchant à proximité.

On entrevoit la difficulté de restauration de stocks importants d'aloses lorsqu'on est en présence d'obstacles en série sur un même cours d'eau et que toutes les zones de reproduction sont situées en amont. ■

## LES PASSES A ANGUILLES

# 1

### RAPPELS BIOLOGIQUES

L'anguille compte parmi les espèces les plus abondantes, représentant par exemple la moitié de la biomasse piscicole des cours d'eau bretons. De multiples indices de régression du stock (diminution de la production des pêcheries, résultats d'inventaires) apparaissent depuis quelques années, expliquant une prise en compte toute récente des besoins de circulation de cette espèce (première réalisation en 1984 dans le marais poitevin). Les aménagements doivent tenir compte des particularités biologiques et des faibles capacités de nage de l'anguille. Ils diffèrent des passes à poissons classiques ou bien ces dernières doivent être adaptées aux besoins des différents stades de l'espèce.

#### 1.1 Colonisation des milieux aquatiques continentaux

Contrairement aux espèces potamotiques chez lesquelles la remontée des cours d'eau correspond à une migration de reproduction (animaux adultes), la progression de l'anguille vers l'amont des cours d'eau est une migration de colonisation qui concerne les juvéniles de l'espèce (civelles, puis anguillettes).

Comme conséquence, les effectifs de migrateurs ne se chiffreront pas en milliers ou dizaines de milliers comme chez les salmonidés, mais c'est généralement en millions que l'on dénumbrera les migrateurs à l'aval d'un bassin.

## 1.2 Grande variété des stades migratoires

La colonisation débute par la pénétration en estuaire des civelles qui ont à ce stade une taille voisine de 70 mm pour un poids moyen individuel de 0.3 g. On distingue deux phases migratoires successives :

- migration portée : en début de saison, les civelles ne possèdent pas de comportement de nage active orientée. Elles utilisent les courants de la marée dynamique en progressant vers l'amont avec le flot et en s'enfouissant dans les sédiments pendant le jusant.
- migration nagée : à partir du mois de mars environ, les civelles acquièrent des capacités de nage et de reptation qui leur permettent de continuer leur progression de façon active et de franchir certains obstacles. Cette phase se poursuivra jusqu'à la fin de l'été. La colonisation du milieu eau douce par les anguilles continuera avec les stades plus âgés, encore appelés "anguillette" ou "anguille jaune". La taille des migrateurs peut alors varier de 10 à plus de 40 cm.



Civelles en reptation sur parement de barrage

L'activité migratoire des anguillettes est saisonnière. Chaque année, elle coïncide avec la période de températures élevées (avril-septembre, maximum d'activité mai à juillet) et permet aux migrateurs de coloniser progressivement la totalité du bassin.

L'équipement des obstacles pour la libre circulation doit tenir compte des facteurs suivants :

- grand nombre d'individus à faire passer dans une période de temps limitée,
- taille moyenne des migrateurs croissante de l'aval vers l'amont du bassin.

### 1.3 Capacités de nage et typologie des obstacles à la migration

Bien que peu nombreuses, les données relatives aux capacités de nage de l'anguille permettent de constater que leurs performances sont inférieures à celles des autres espèces. Les vitesses de pointe maximales citées pour les civelles varient de 0.60 à 0.90 m/s. MCLEAVE [74] a étudié les performances natatoires de civelles (tailles comprises entre 6.9 et 7.5 cm) et montré que leurs capacités de franchissement d'un écoulement laminaire sont très limitées : la distance maximale parcourue dans un écoulement de 0.30 m/s est voisine de 3 mètres. Elle diminue jusqu'à une trentaine de cm pour un courant de 0.5 m/s et les écoulements plus rapides deviennent infranchissables.

La seule valeur figurant dans la littérature sur la vitesse de nage maximale de l'anguille subadulte est de 1.14 m/s pour une anguille de 0.60 m à une température comprise entre 10 et 15°C [10]. L'anguille est susceptible d'être bloquée par des obstacles qui n'arrêteront pas les autres espèces migratrices. En particulier :

- *les chutes, même de faible hauteur (quelques centimètres), sont infranchissables,*
- *le passage dans des buses ou sur des déversoirs est interdit par des vitesses de courant modérées en l'absence d'hétérogénéités de l'écoulement.*

La typologie des obstacles à la migration de l'anguille est donc spécifique. Des observations ponctuelles (civelles en reptation sur des parois humides verticales, présence d'anguilles dans des plans d'eau isolés du réseau hydrographique) ont pendant longtemps conduit à sous-estimer l'impact des aménagements sur les cours d'eau. Pour spectaculaires qu'elles soient, les capacités de reptation de l'anguille sur des supports humides non aménagés sont souvent illusoire : ce type de franchissement est très sélectif vis-à-vis de la taille des migrants, très dépendant des débits du cours d'eau et ne permet, dans la quasi-totalité des cas, qu'à un nombre infime d'individus de poursuivre leur migration.

Ainsi, si l'anguille peut tirer parti de faibles débits sur des substrats rugueux ou revêtus de végétation, tels que les déversoirs des anciens moulins à parement aval incliné, elle sera en revanche pénalisée par des ouvrages lisses (béton ou organes métalliques), étanches, homogènes sur toute la largeur du cours d'eau, présentant des chutes, des ruptures de pentes ou des écoulements à vitesse excessive.

## 1.4 Des problèmes spécifiques à la dévalaison

La migration de dévalaison concerne des subadultes, en phase de maturation sexuelle. La descente des cours d'eau débute généralement avec les premières crues automnales. Les déplacements des anguilles sont nocturnes et se font de façon relativement passive : le trajet des migrateurs suit le flot principal. Ces caractéristiques, jointes à la taille importante des individus, les rendent particulièrement vulnérables lors du passage des équipements hydrauliques. On ne dispose pas à l'heure actuelle de méthode éprouvée pour détourner les anguilles du transit dans les turbines, qui peuvent causer des mortalités élevées. Des travaux récents conduits aux Pays-Bas sur des ouvrages de prise d'eau et des pêcheries d'anguilles ont toutefois démontré l'efficacité de l'action répulsive de la lumière, y compris dans des eaux à turbidité assez élevée [38]. Une expérimentation spécifique est encore nécessaire pour déterminer si cette méthode peut être rendue opérationnelle sur diverses configurations d'aménagements. ■

# 2 LES DIFFERENTS MOYENS DE FRANCHISSEMENT DES OBSTACLES

## 2.1 Manœuvres d'ouvrages en estuaire

Cette technique est applicable à certains barrages situés dans la zone d'action des marées dynamiques et fonctionnant en mode "évacuation" pour empêcher la pénétration trop fréquente d'eau de mer ou éviter les inondations dues à la conjonction de crues et de marées de fort coefficient. Leur mode de gestion particulier (fermeture au flot, ouverture au jusant) interrompt totalement le passage des civelles qui s'accumulent au pied de l'ouvrage. L'équipement de l'obstacle au moyen d'une passe ne résout que partiellement le problème, puisque celle-ci ne devient fonctionnelle qu'à partir du moment où les migrateurs auront acquis des capacités de nage et de reptation.

Pour éviter le blocage des migrateurs pendant toute la phase de migration portée, on peut faire passer des civelles à l'amont du barrage en procédant à des admissions d'eau à marée haute. Les manœuvres d'ouvrage doivent avoir lieu à l'occasion de marées hautes nocturnes de fort coefficient [63] et il est recommandé de suivre périodiquement leur efficacité en mesurant la densité des civelles présentes dans le volume d'eau admis à l'amont de l'ouvrage.

*Un fonctionnement du barrage avec admissions d'eau saumâtre régulières, voire à chaque marée, est une solution préférable, car il maintient dans l'espace estuarien un gradient de salinité qui permet aux migrateurs de s'adapter progressivement au milieu dulçaquicole. On évite ainsi les mortalités qui peuvent être causées par un changement de milieu chez des poissons encore inaptes à le supporter sur le plan physiologique.*

## 2.2 Passage dans les passes à poissons classiques

A cause de ses capacités de nage limitées, le passage de l'anguille dans des passes à poissons dimensionnées pour d'autres espèces n'est pas nécessairement acquis. Les passes à bassins successifs à échancrures profondes (possibilité de passage sans saut), avec des dénivellations faibles entre bassins ( $< 0.20$  m) sont accessibles à cette espèce, mais peu d'observations sur ce sujet sont disponibles, les pièges de contrôle des passes à poissons n'étant généralement pas adaptés à la capture d'individus de petite taille comme l'anguille. Des observations visuelles sur des passes à parois vitrées montrent que l'anguille peut tirer profit des faibles vitesses associées aux couches limites ou des décollements et des hétérogénéités d'écoulement dans les zones à vitesses élevées. Un aménagement particulier de ces passages (par exemple par la mise en place de structures à forte rugosité telles que des brosses dans la partie profonde des échancrures) pourrait améliorer le passage de l'anguille dans certains type d'ouvrages. Des expérimentations sont nécessaires pour évaluer le gain à attendre de tels dispositifs.

## 2.3 Les passes spécifiques aux civelles et aux anguillettes

Les capacités d'escalade et de reptation sur des supports humides présentant des aspérités ont été mises à profit pour concevoir des passes migratoires pour les civelles et les anguillettes. Le franchissement de l'obstacle est rendu possible par la mise à disposition, à proximité d'une zone de stationnement des migrateurs, d'une rampe équipée d'un matériau facilitant leur progression. Des ouvrages de franchissement de géométrie variée (plans inclinés, caniveaux, tubes...) ont été installés à l'étranger [96]. ■

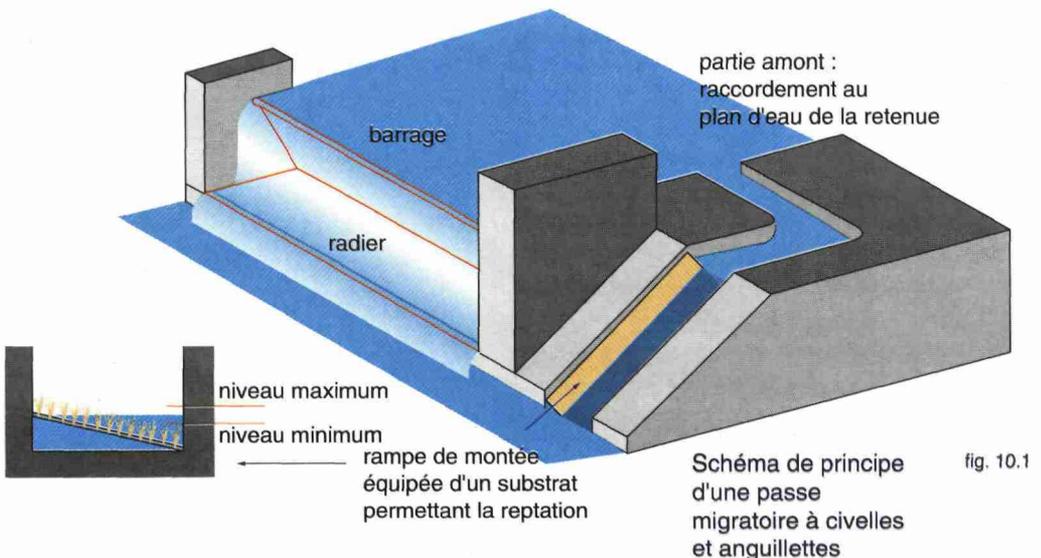
# 3

## CONCEPTION DES DISPOSITIFS DE FRANCHISSEMENT POUR LES CIVELLES ET LES ANGUILLETES

### 3.1 Principe de l'aménagement

Les passes à civelles et anguillettes sont composées de deux parties (Fig. 10.1) :

- La rampe de montée, dont la partie inférieure est immergée dans le plan d'eau aval. Cette rampe est garnie d'un matériau propre à faciliter la progression des animaux, de nature variable suivant les régions ou les pays. Il est maintenu humide en permanence, soit gravitairement à partir du plan d'eau amont, soit par arrosage. Le faible débit nécessaire à l'irrigation du substrat (quelques litres/minute) est complété par un débit plus important, injecté au voisinage de la rampe et destiné à attirer les migrateurs vers l'entrée de la passe.
- La partie amont, configurée pour permettre l'accès des migrateurs au plan d'eau amont. Il convient d'assurer dans cette zone une transition telle qu'il n'y ait pas de blocage des migrateurs, soit par discontinuité dans l'alimentation en eau, soit par la présence de zones à vitesse d'écoulement excessif, qui rejetteraient les migrateurs à l'aval.



## 3.2 La rampe de montée

Les aménagements réalisés en France ou à l'étranger utilisent des rampes d'une largeur de 0.20 à 1 m, pour une pente généralement comprise entre 5% et 45%.

Les substrats qui ont été utilisés sont très variables suivant les pays.

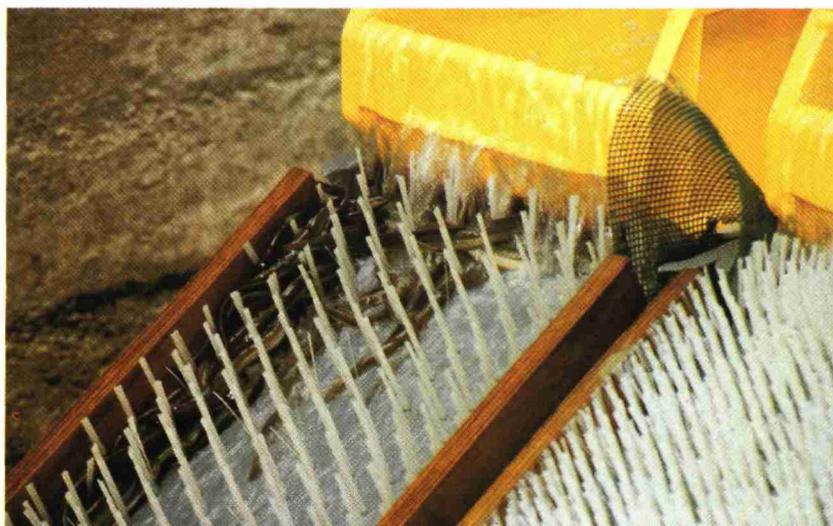
Ils peuvent être d'origine naturelle (cailloux, branchages, bruyère, paille) ou artificielle (grillage, brosse...). Les substrats naturels nécessitent un entretien plus fréquent et doivent être périodiquement remplacés.

Une expérimentation réalisée en France [64] sur des substrats de type brosse a montré que les performances du dispositif de franchissement dépendaient des dimensions du substrat et de la pente de la rampe. Ces facteurs doivent être choisis en fonction de la taille des migrateurs présents sur le site. A l'heure actuelle, les substrats de type brosse utilisés en France sont de deux types [65] :

- type civelles : l'espacement des faisceaux de soies est de 7 mm,
- type anguillettes et anguilles : espacement de 14 mm.

Dans les ouvrages proches de la mer, où les rampes sont irriguées par aspersion, on peut installer sur une même rampe des bandes longitudinales composées des deux types de substrat.

Anguillettes progressant sur des rampes équipées d'un substrat de type brosse (dispositif expérimental)

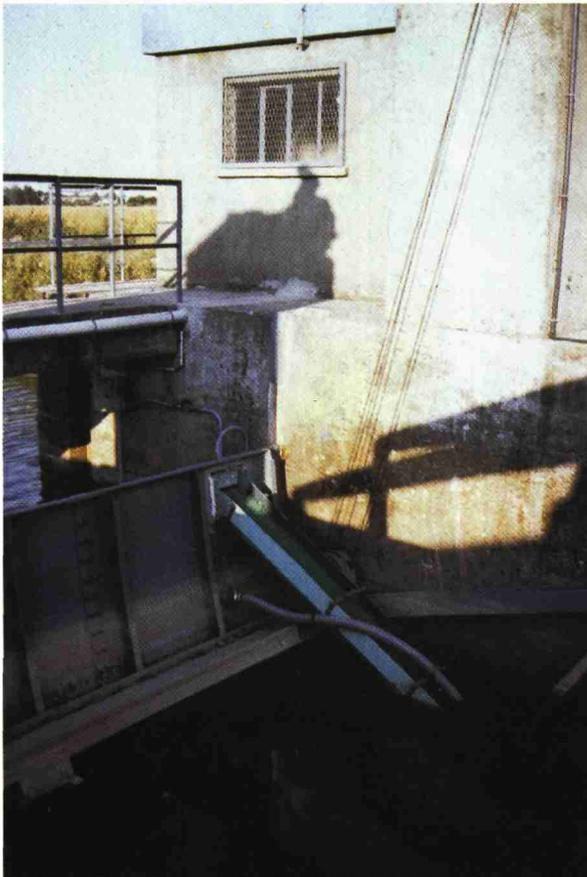


### 3.3 La partie amont

Le principal problème rencontré est lié aux fluctuations de niveau du plan d'eau amont. L'abaissement du niveau est susceptible d'entraîner un assèchement du dispositif de franchissement. Au contraire, son augmentation peut déboucher rapidement sur un excès d'alimentation de la rampe de montée et sur l'apparition de vitesses excessives à l'amont de celle-ci.

Ce problème a été traité de trois façons différentes :

- La rampe de montée présente un dévers latéral (Fig. 10.1) qui permet d'absorber des variations de niveau de la retenue d'une vingtaine de cm, en conservant latéralement une zone à faible tirant d'eau et à vitesse d'écoulement modérée pour le passage des migrateurs. Plusieurs rampes de ce type peuvent être groupées, à des niveaux différents, pour couvrir des variations plus conséquentes de la cote du plan d'eau amont. Une évaluation précise d'un tel aménagement est encore nécessaire.



Dispositif migratoire pour les civelles et anguillettes installé sur un vanne segment

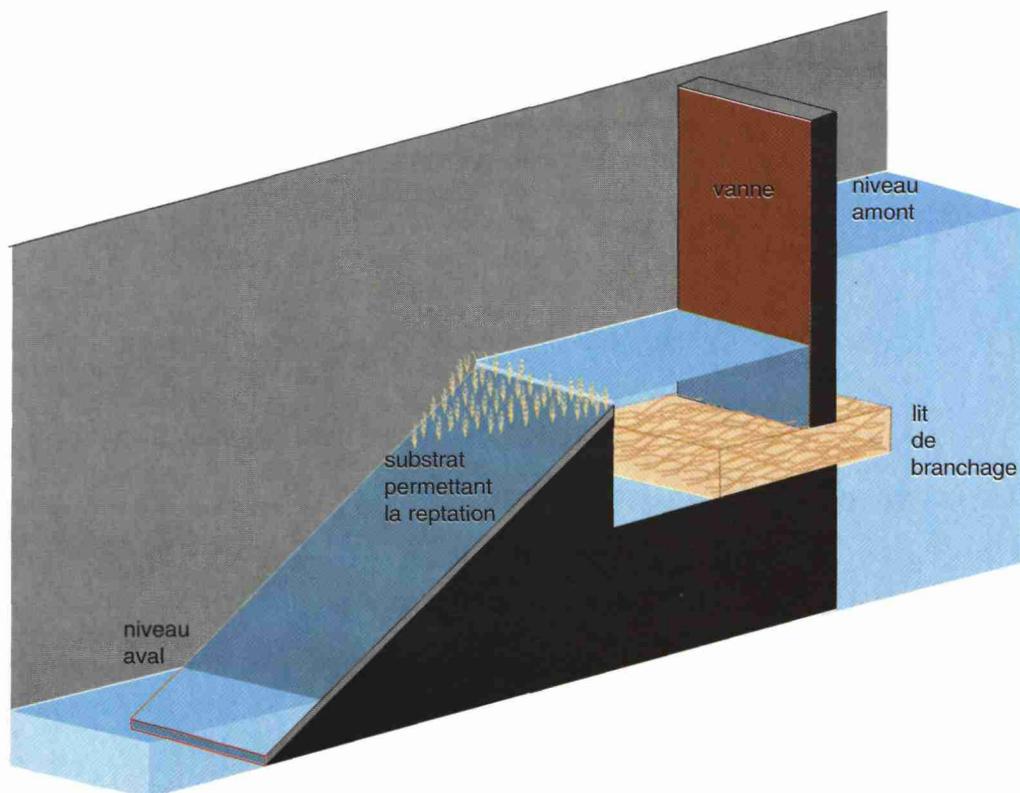


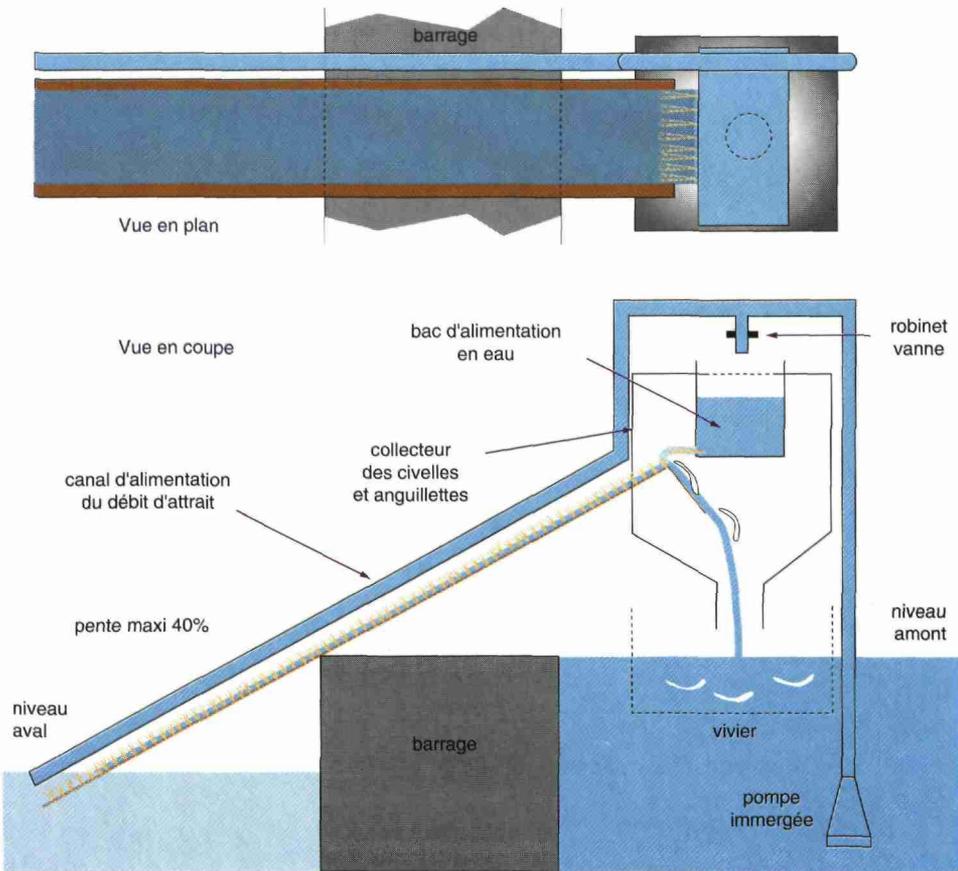
fig. 10.2

Régulation de l'alimentation en eau et passage des anguilles au moyen d'un lit de branchage sous une vanne

- L'ensemble du dispositif est placé à une cote plus basse que le niveau minimal de la retenue (Fig. 10.2) et le passage dans le plan d'eau amont est possible au travers d'un lit de branchages coincé sous une vanne, ayant pour but de diminuer localement les vitesses d'écoulement. Ce procédé reste limité à des variations modestes du niveau amont, et son efficacité n'a jamais été évaluée précisément.
- L'extrémité amont de la rampe de montée est placée à une cote supérieure au niveau maximal de la retenue (Fig. 10.3). La rampe est irriguée par pompage et aspersion. Les migrateurs parvenus en haut de la rampe sont entraînés sur un plan incliné en sens inverse, et tombent dans le plan d'eau amont, ou dans un vivier de stockage qui permet de les capturer en vue d'un transport ou d'un dénombrement.

### 3.4 Implantation sur le site

La notion d'attractivité des passes est, dans l'état actuel des connaissances, moins bien définie pour l'anguille que pour d'autres espèces. Les recommandations qui peuvent être formulées sont de placer l'entrée d'une passe à anguilles au plus près de l'obstacle, au voisinage du point de remontée maximale des migrateurs. La proximité d'une zone calme servant de zone de stationnement et de repos pour les migrateurs semble importante.



Passé aménagée en piège à civelles et anguillettes

La présence d'anguilles est souvent observée au voisinage des passes à poissons dimensionnées pour le passage d'autres espèces. Il est possible de profiter de l'attraction exercée par un tel ouvrage en lui associant une rampe équipée d'un matériau adéquat (Fig. 10.4).

Lorsque les migrateurs sont présents au pied d'un obstacle, il est utile de repérer leurs zones de stationnement et de concentration pour guider le choix de l'emplacement d'une passe migratoire.

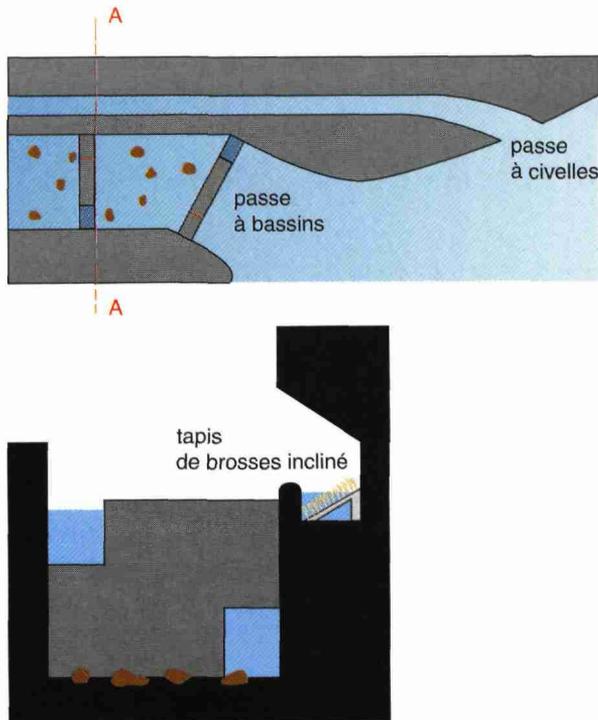
Avant un aménagement définitif, on pourra procéder à des essais sur le site au moyen d'une passe-piège amovible, alimentée en eau gravitairement ou par pompage, afin de rechercher le meilleur site d'implantation.



Passe-piège à anguillettes au barrage de la Ville-Hatte sur l'Arguenon (Côtes-d'Armor).  
Dispositif provisoire préalable à l'installation d'un ascenseur

### 3.5 Observations sur l'état de la technique

Même si d'assez nombreux aménagements destinés à faciliter la migration de l'anguille ont été réalisés à l'étranger, les expérimentations conduites sur ce type d'ouvrage ont été peu fréquentes et souvent incomplètes. On peut ainsi observer que les différents types de substrats n'ont jamais été testés simultanément et que les performances de différentes configurations de la partie amont de l'ouvrage n'ont pas été comparées. Des améliorations substantielles devraient encore intervenir dans le choix des matériaux et la configuration des aménagements. ■



Association d'une passe à bassins et d'un dispositif de franchissement pour les civelles et anguillettes (d'après JENS, 1982<sup>[47]</sup>)

---

# **CONCEPTION DES PROJETS DE PASSES, SUIVI DES CHANTIERS, COUTS, ETUDES SUR MODELES REDUITS**

## **1 LA CONCEPTION D'UN PROJET DE PASSE**

### **1.1 Recueil d'informations préliminaires**

Une passe à poissons doit répondre à deux impératifs d'égale importance :

- être adaptée à l'espèce (ou aux espèces) à laquelle elle est destinée,
- être adaptée au site sur lequel elle est installée.

La conception d'un ouvrage de franchissement commencera donc par la collecte d'informations biologiques, hydrologiques, topographiques et hydrauliques. Ces éléments devront figurer dans tous les dossiers de passes, leur connaissance étant indispensable pour formuler un avis lors d'une consultation.

## ■ Données biologiques

On précisera tout d'abord les espèces migratrices à prendre en compte :

- pour les obstacles existants, en consultant notamment les décrets et les arrêtés d'application qui fixent les espèces migratrices à prendre en compte sur les tronçons de cours d'eau classés au titre de l'article L. 232-6 du code rural,
- pour les renouvellements ou modifications d'autorisations et de concessions ainsi que pour les ouvrages nouveaux, la nécessité de préserver le patrimoine aquatique peut entraîner des exigences plus étendues que celles requises par l'article L. 232-6. On sera alors amené, à la demande de l'administration, à prendre en compte les besoins de franchissement d'autres espèces migratrices (holobiotiques et amphibiotiques) présentes, en portant attention à l'existence éventuelle de programmes de restauration de populations de migrateurs sur certains tronçons de cours d'eau.

Dans tous les cas, la liste des espèces migratrices devra être fixée sans ambiguïté avant l'élaboration du projet.

Le dossier technique devra préciser la liste des espèces, et pour chacune, les données disponibles sur les effectifs actuels ou potentiels, les périodes de migration de montaison et de dévalaison, ainsi que les modes d'obtention de ces différentes informations (données bibliographiques, enquêtes, observations de terrain, stations de contrôle situées en aval, etc.).

## ■ Données hydrologiques et qualité des eaux

Le dossier devra inclure les caractéristiques hydrologiques du cours d'eau, en se référant à la station de jaugeage la plus proche : module interannuel, débits moyens mensuels, débits caractéristiques d'étiage et de crue (DCN10 et DCX10). Il précisera également l'amplitude de variation des débits en période de migration et indiquera le cas échéant comment ces débits sont influencés par des aménagements situés en amont.

Sur des cours d'eau de faible importance, on ne disposera qu'exceptionnellement des résultats d'une station de jaugeage implantée à proximité de l'aménagement. Il conviendra alors de rechercher des sites de référence, de préférence sur le même bassin hydrographique, à défaut sur un bassin voisin de nature géologique comparable, à partir duquel des corrélations de débits satisfaisantes pourront être établies. Il ne s'agira pas, en général, d'obtenir des informations d'une grande précision, mais de définir les ordres de grandeur des valeurs caractéristiques du débit ainsi que l'allure et l'amplitude de ses variations en période de migration. En dehors de certaines singularités liées aux écoulements de type karstique, les corrélations directes avec les superficies des bassins versants seront souvent suffisantes.

On recherchera également les données concernant la qualité des eaux sur le site :

- la température de l'eau, par ses conséquences sur les capacités de nage et de saut des migrateurs, est susceptible d'influencer notablement l'efficacité d'une passe migratoire, notamment dans les cours d'eau de montagne, soumis à des basses températures. A l'opposé, les températures estivales sur la partie basse des grands cours d'eau peuvent atteindre des valeurs limitantes à certaines périodes pour les salmonidés migrateurs,
- la qualité physico-chimique de l'eau (notamment présence de substances polluantes, teneur en oxygène) est à prendre en compte pour l'alimentation de la passe à poissons et le débit d'appoint nécessaire à son fonctionnement. On portera une attention particulière aux prises d'eau dans les retenues où une stratification thermique ou physico-chimique peut se produire : suivant la profondeur à laquelle l'eau est prélevée, on peut rencontrer des températures inadéquates ou des teneurs en oxygène insuffisantes à certaines périodes de l'année.

## ■ Caractéristiques de l'aménagement

### Plans de l'aménagement

Il est nécessaire de disposer :

- d'un relevé à une échelle qui permette de situer l'ensemble des aménagements du site : prises d'eau, canaux d'amenée et de fuite, organes de restitution, etc,
- d'un relevé plus précis de la zone (ou des zones) où les migrateurs se trouvent bloqués (montaison et dévalaison),
- d'une coupe des ouvrages aux endroits où le dispositif de franchissement est susceptible d'être installé,
- d'un relevé détaillé des dimensions et cotes de tous les ouvrages de régulation hydrauliques (déversoirs, vannes, prises d'eau et restitutions) ainsi que des caractéristiques des turbines.

On pourra utiliser des plans existants, mais la vérification de la conformité des ouvrages lors d'une visite sur le site est indispensable.

### Relation entre le débit et les niveaux d'eau amont et aval

Le dossier technique doit comprendre impérativement la relation débit-cotes des plans d'eau amont et aval.

Un ouvrage de franchissement est en effet calé par rapport au niveau des plans d'eau amont (alimentation de l'ouvrage) et aval (configuration et attractivité de l'entrée pour le poisson). Les niveaux en période d'étiage - qui correspondent généralement au dénivelé maximum - devront figurer explicitement sur les plans. On notera également les cotes des plans d'eau relevées à des débits caractéristiques qui serviront de points de repère dans la conception et la vérification de la plage de fonctionnement du dispositif de franchissement.

Dans certains cas, on sera amené à installer sur le site des échelles limnimétriques, voire un limnigraphie ou une sonde de niveau. Dans le cas d'ouvrages nouveaux, il est souvent difficile de déterminer avec précision le niveau aval après aménagement qui dépendra à la fois de l'exécution des travaux et de l'évolution ultérieure du lit du cours d'eau. Il sera alors recommandé dans la mesure du possible de prévoir une marge de sécurité dans le calage de la partie aval de l'ouvrage.

Dans certains cas (ouvrages fixes déversants), il est possible de déterminer par le calcul de façon assez précise les variations du niveau amont à partir du débit du cours d'eau par l'utilisation des relations classiques charge amont-débit au-dessus de déversoirs.

### **Étude des usages de l'eau sur le site et des modes de fonctionnement des installations hydrauliques**

Le dossier technique devra inclure une description précise du mode de fonctionnement des installations et analyser les conséquences des différents cas de figure sur la configuration des écoulements ainsi que leur effet probable sur la migration du poisson, tant à la montée qu'à la descente (attraction des poissons au pied des turbines ou des ouvrages évacuateurs par exemple). On examinera éventuellement l'impact causé par la pratique de chômages et d'éclusées. On apportera un soin particulier à l'étude des problèmes posés par les restitutions multiples (dérivations, turbines, vannes de décharge...). Le cas échéant, des aménagements particuliers du site ou des règles de fonctionnement seront envisagées pour limiter les perturbations ou les blocages de la migration.

### **Recherche des lieux de rassemblement et de tentative de franchissement des migrateurs**

Dans le cas d'ouvrages existants sur des cours d'eau fréquentés par les migrateurs, une enquête auprès des services de la pêche, des riverains et des pêcheurs peut permettre de circonscrire les zones de blocage des migrateurs et de disposer ainsi de garanties supplémentaires pour le choix de l'implantation de la passe à poissons. Sur des aménagements complexes et sur les cours d'eau importants, une étude biologique préalable peut s'imposer (observation directe ou enregistrements vidéo sur le site, radiopistage, etc.).

## 1.2 Conception de l'ouvrage

Le travail de conception de l'ouvrage est alimenté par les données listées ci-dessus. On peut en décrire chronologiquement les différentes phases comme suit :

### ■ Détermination de la plage de fonctionnement de la passe à poissons en débits et niveaux

A partir des données hydrologiques recueillies et des rythmes migratoires, on fixera la gamme de débits du cours d'eau dans laquelle l'ouvrage de franchissement doit rester fonctionnel. Il est d'autant plus nécessaire de minimiser les temps de blocage à l'aval des obstacles que la fenêtre d'activité migratoire de l'espèce concernée est étroite et que l'on se trouve dans une période proche de la reproduction (cas des espèces potamotoques). Par exemple, il est indispensable qu'un ouvrage de franchissement destiné à l'alose ou à l'anguille soit opérationnel de façon permanente pendant toute la période de la migration. On pourra en revanche tolérer qu'une passe à poissons destinée aux salmonidés migrateurs soit suralimentée et non fonctionnelle lors de certains pics de crue.

On essaye généralement de faire en sorte que la passe fonctionne correctement pour les débits du cours d'eau compris entre la valeur d'étiage et une valeur voisine de deux à trois fois le module interannuel. Cette dernière valeur correspond pour la plupart des cours d'eau français à un débit qui n'est dépassé qu'une trentaine de jours par an en année moyenne, et seulement quelques jours consécutifs. Cet ordre de grandeur assure en général un fonctionnement permanent de l'ouvrage de franchissement en période de migration de l'alose et une fréquence de fonctionnement satisfaisante pour les salmonidés.

La plage de débits du cours d'eau dans laquelle la passe doit rester fonctionnelle étant déterminée, on relèvera les niveaux des plans d'eau amont et aval correspondants. Une connaissance précise de ces niveaux est en effet indispensable au calage de l'ouvrage et à son dimensionnement.

## ■ Choix des débits dans la passe à poissons

On déterminera les débits à utiliser dans le dispositif de franchissement pour attirer et assurer le transit des migrateurs, tant à la montée qu'à la descente. Il conviendra de se référer à la réglementation de l'aménagement qui fixe souvent un débit réservé, utilisable en totalité ou en partie pour le fonctionnement des dispositifs de franchissement. On rappelle que le débit dans le dispositif doit être à l'échelle de ceux transitant dans le cours d'eau et l'aménagement.

## ■ Choix du type de passe

Dans de nombreux cas, la décision finale résultera d'un compromis, plusieurs types d'ouvrages ou plusieurs configurations pouvant convenir, avec pour chacune d'entre elles des avantages et des inconvénients.

Les principaux facteurs intervenant dans la détermination du type de passe sont rappelés de façon très succincte dans la suite :

### - les espèces concernées

Certaines passes sont très spécifiques. C'est notamment le cas des passes à civelles et à anguillettes. De même, les passes à ralentisseurs sont pratiquement réservées aux salmonidés,

### - les débits à transiter dans l'ouvrage

Ces débits, lorsqu'ils sont faibles (quelques dizaines de l/s) ou au contraire très importants (plusieurs m<sup>3</sup>/s) deviennent incompatibles avec certains types de dispositifs,

### - les variations des niveaux amont et aval

Les différents types d'ouvrages sont plus ou moins sensibles aux variations des plans d'eau amont et aval,

### - les contraintes topographiques

Le choix d'un type de passe peut être imposé par des contraintes topographiques sur un site exigü. Une passe à ralentisseurs doit être constituée de parties rectilignes, les changements de direction ne pouvant avoir lieu qu'au niveau de bassins de repos. Ce type d'ouvrage requiert donc un développement conséquent en longueur. La passe à bassins est davantage plastique, les bassins pouvant être repliés et agencés pour s'adapter au terrain. L'ascenseur est en général assez facilement intégrable aux ouvrages hydrauliques : il n'exige qu'une faible emprise au sol,

- la dénivellation à franchir  
C'est un facteur important, intervenant dans le coût de l'ouvrage de franchissement, à considérer dans le choix du type de passe : une passe à ralentisseurs peu onéreuse sur un barrage de faible hauteur deviendra moins intéressante qu'une passe à bassins sur un ouvrage plus élevé (nécessité d'installer des bassins de repos). De même, sur un barrage de grande hauteur, l'ascenseur sera une solution moins coûteuse que la passe à bassins,
- le coût de fonctionnement et d'entretien du dispositif de franchissement, qui peut représenter un budget important à long terme. Il constitue un critère à ne pas négliger dans le choix du type d'aménagement. On sera ainsi amené à privilégier les dispositifs statiques (passe à bassins) par rapport aux ouvrages comportant de nombreux organes mobiles (écluses et ascenseurs). On attachera une attention toute particulière aux problèmes de colmatage des prises d'eau et des grilles qui entraînent des interventions fréquentes et coûteuses, et on choisira un type d'ouvrage, une configuration et une implantation propres à faciliter la maintenance,
- le transport solide dans le cours d'eau  
Dans le cas d'un transport solide important (galets et blocs), on évitera les passes à ralentisseurs ou les passes dont les bassins trop profonds risqueraient de s'engraver,
- les conditions climatiques, en particulier le gel qui peut affecter le fonctionnement des organes mobiles ou de grilles trop fines  
Ce facteur doit être pris en compte notamment pour la conception d'ascenseurs dans des sites de montagne.

## ■ Implantation sur le site

L'implantation de la passe à poissons doit tenir compte :

- de l'espace disponible pour l'emprise au sol,
- de la courantologie sur le site dans toute la gamme de débits retenue pour le fonctionnement de la passe (éviter les situations où l'écoulement à la sortie de la passe est masqué ou perturbé),
- des informations collectées sur les rassemblements de migrateurs et les tentatives de franchissement sur les ouvrages existants. On recherchera l'implantation correspondant à la meilleure attractivité de l'entrée pour le poisson. Si la situation la plus adéquate ne peut être retenue, il sera nécessaire de renforcer l'attractivité du dispositif par un débit plus important,
- des problèmes d'entretien.

## ■ Dimensionnement et calage du dispositif

En se référant aux règles de dimensionnement et/ou aux abaques de calcul donnés pour chaque type de passe, on définira l'ouvrage dans ses moindres détails. Le dossier comprendra les éléments suivants :

- plan de situation du dispositif et de ses annexes,
- plans détaillés comportant profils en long et coupes,
- note descriptive donnant les caractéristiques de la passe : dimensions des bassins, mode de communication entre bassins (dimensions des échancrures, fentes ou orifices), caractéristiques des ralentisseurs, pente...,
- note précisant le comportement hydraulique de la passe pour plusieurs configurations caractéristiques des niveaux amont et aval considérés en période de migration,
- mode de prise, de dissipation et d'injection du débit d'attrait dans l'ouvrage,
- débits et vitesses à l'entrée de la passe en fonction des débits du cours d'eau,
- dispositifs de protection contre les corps dérivants. ■

## 2 LE SUIVI DE CHANTIER

### 2.1 Généralités

La maîtrise d'œuvre pour les chantiers de grosses passes à poissons est équivalente à celle de tout ouvrage d'art de même importance et doit faire appel aux mêmes moyens : elle ne sera pas détaillée ici et on se limitera à signaler la nécessité de contrôler la qualité des matériaux, la fiabilité des matériels hydromécaniques, l'ancrage aux ouvrages existants, de vérifier certaines cotes ou niveaux essentiels (radiers, pertuis d'alimentation...).

On s'intéressera dans la suite aux équipements de moindre importance, qui peuvent être réalisés par des entreprises non spécialisées et nécessitent de ce fait une vigilance particulière.

### 2.2 Programmation du chantier

Le choix de la date des travaux devra reposer sur une estimation de leur durée prévisible, et retenir une période présentant la garantie de débits modérés. On cherchera de plus à s'assurer que l'entreprise de gros œuvre présente la disponibilité nécessaire et des moyens matériels suffisants pour réaliser les travaux dans les délais prévus.

Une attention particulière doit être apportée aux problèmes de batardage et de mise hors d'eau du chantier. L'expérience montre que les tentatives d'économie sur ce poste se soldent généralement par un surcroît de dépenses hors de mesure ou par une réalisation non conforme de l'ouvrage. Il conviendra donc d'estimer avec précision les besoins de mise hors d'eau et de protection du chantier, les difficultés d'accès ou de prélèvement de matériaux sur place et de mettre en œuvre tous les moyens nécessaires pour le bon déroulement des travaux.

Des garanties particulières peuvent être demandées aux entrepreneurs, telles que la prise en compte des risques de crues par une assurance ou l'intervention de pénalités de retard pour la totalité ou certaines phases du chantier. Les contraintes spécifiques (précision des cotes dans certaines parties de l'ouvrage : bassins pour piégeage, échancrures) seront précisées dans le marché et les mécanismes de régulation devront être détaillés dans un cahier des charges.

## 2.3 Exécution des travaux

### ■ Interprétation des plans et implantation de l'ouvrage

Les plans de l'ouvrage doivent être bien détaillés (proscrire tout projet qui ne reposerait pas sur un levé topographique exact du site, ou pire, les documents du type "schéma établi sur le terrain"). Les cotes au millimètre près sont conseillées et doivent être rattachées à une référence bien définie.

On travaillera sur des plans datés et au moment de l'installation du chantier, on vérifiera que l'entrepreneur est bien en possession du dernier projet (et de celui là seulement !). Les plans seront commentés avec le responsable de l'entreprise et on s'assurera qu'il sait qui contacter en cas de problème d'interprétation ou si une modification est imposée par une contrainte de site. Toute modification - aussi minime soit-elle - du projet initial doit être validée par le concepteur du dispositif de franchissement ou par une personne disposant des mêmes compétences.

L'emprise au sol de l'ouvrage sera déterminée avec précision (repères) lors de l'installation du chantier.

## ■ Suivi des travaux

Des visites périodiques par une personne familière du fonctionnement et des critères de conception des passes à poissons devront être programmées aux stades les plus importants du chantier. On peut recommander notamment les étapes suivantes :

- fin des démolitions ou des fouilles,
- mise en place du ferrailage des fondations et des radiers,
- fin de coffrage, avant mise en œuvre du béton de gros œuvre,
- décoffrage et travaux de finition.

A chaque étape, on vérifiera les niveaux des radiers et des seuils, surtout dans la partie aval où on constate une propension à la surélévation des ouvrages pour limiter les démolitions. Il faudra contrôler particulièrement l'existence d'une fosse d'appel suffisante au pied de l'ouvrage, les entrepreneurs ayant tendance à réduire, voire combler les fosses à l'aval de l'ouvrage par crainte d'affouillement.

Les finitions de l'ouvrage doivent éviter aux migrants de se blesser, notamment au niveau des raccordements aux ouvrages existants, des arêtes qui devront être arrondies ou chanfreinées et des organes métalliques. Les bavettes en caoutchouc pourront être utilisées pour interdire aux migrants l'accès de passages sans issue ou de zones où ils sont susceptibles de se blesser.

## 2.4 Réception des travaux

La réception de l'ouvrage se fera de préférence hors d'eau pour procéder à une vérification générale des niveaux de génie civil, à moins que cette vérification n'ait été faite lors des suivis périodiques de chantier. Elle inclura une mise en eau de l'aménagement et une vérification de son fonctionnement hydraulique (mesure des lignes d'eau et calcul des débits transités). On réglera ou on ajustera le cas échéant le niveau de certaines échancrures ou déversoirs au moyen de planchettes. Dans ce cas, le réglage définitif sera suivi d'une fixation inamovible des planchettes qui seront de préférence réalisées en béton. ■

# 3 COUT DES PASSES A POISSONS

Il est souvent intéressant de déterminer très tôt l'ordre de grandeur du coût d'un dispositif de franchissement.

## 3.1 Passes à bassins successifs

Le coût d'une passe à bassins successifs est approximativement proportionnel au volume interne du génie civil, c'est-à-dire au volume représenté par le produit de la largeur intérieure, la longueur et la profondeur moyenne de la structure de la passe.

Des statistiques récentes (décembre 1992) portant sur une centaine de passes à bassins montrent que le coût moyen (coût H.T.) est d'environ 3600 F/m<sup>3</sup> (médiane 3300 F/m<sup>3</sup>, premier et troisième quartile 2300 F/m<sup>3</sup> et 4400 F/m<sup>3</sup>). La variabilité de ce coût unitaire est cependant assez grande : il peut varier de moins de 2000 F/m<sup>3</sup> à plus de 6000 F/m<sup>3</sup> pour certains ouvrages.

La grande majorité des coûts rentrant dans l'étude statistique sont afférents à des dispositifs de franchissements construits sur des obstacles existants. Les coûts unitaires les plus faibles observés sont relatifs aux passes construites en même temps que l'usine ou le barrage.

Le volume interne du génie civil défini pour estimer le coût d'un ouvrage comprend :

- le volume de tous les bassins, c'est-à-dire de la passe proprement dite,
- le volume nécessaire à la prise, au transit et à la dissipation du débit complémentaire d'attrait,
- le volume nécessaire au piégeage et/ou à la visualisation du poisson.

Seul le volume "utile" des bassins (volume d'eau dans les bassins en étiage) est très tôt et facilement prévisible sur un aménagement donné : il est proportionnel à la chute maximale au niveau de l'obstacle (observée généralement en étiage) et au débit transitant dans la passe. Ce volume est déterminé de telle sorte que la puissance dissipée volumique ne dépasse pas 150 à 200 watts/m<sup>3</sup>.

Il convient cependant d'y ajouter :

- un volume correspondant à la prise en compte des fluctuations du niveau d'eau de part et d'autre de l'ouvrage en période de migration (d'une importance très variable suivant les cours d'eau et les obstacles),
- un volume correspondant à la revanche destinée à éviter le débordement de la passe,
- un volume supplémentaire, qui peut être aussi très variable, imposé par la topographie du site et le tracé de la passe.

Il est aussi possible d'estimer le coût en fonction de la chute maximale (H) et du débit (Q) transitant dans l'ouvrage :

$$C = K H Q$$

avec :

C : coût de la passe en F (H.T.)

H : chute maximale (en m) en étiage

Q : débit (m<sup>3</sup>/s) dans la passe en étiage

La valeur moyenne du coefficient K est de 490 000 F par m de chute et par m<sup>3</sup>/s de débit. Il est susceptible de varier de 150 000 F à plus de 1 000 000 F suivant les conditions d'installation de la passe.

L'estimation des coûts à l'aide de l'expression précédente est évidemment beaucoup plus grossière que celle obtenue à partir du volume intérieur du génie civil.

## 3.2 Passes à ralentisseurs

Des statistiques portant sur une cinquantaine de passes à ralentisseurs donnent un coût unitaire moyen de 10 600 F/m<sup>3</sup>. (médiane 9 700 F/m<sup>3</sup>, premier et troisième quartile 7 600 F/m<sup>3</sup> et 12 800 F/m<sup>3</sup>). Comme pour les passes à bassins, la variabilité est cependant assez grande et tient le plus souvent aux conditions spécifiques d'implantation de certains ouvrages.

Comme pour les passes à bassins, il est aussi possible d'estimer le coût en fonction de la chute maximale (H) et du débit (Q) transitant dans l'ouvrage :

$$C = K H Q$$

La valeur moyenne du coefficient K est de 270 000 F par m de chute et par m<sup>3</sup>/s de débit. Il est susceptible de varier de 100 000 F à plus de 800 000 F suivant les ouvrages.

## 3.3 Ascenseurs

Le coût des ascenseurs à truites varie de 100 000 F à 400 000 F, celui des ascenseurs à saumons de 300 000 F à 800 000 F. Pour la partie mécanique des gros ascenseurs à aloses à système de concentration mécanisé, les coûts sont de l'ordre de 1 500 000 KF à 2 500 000 KF.

Il convient d'ajouter à ces coûts celui du génie civil nécessaire à l'implantation de l'ascenseur dans l'ouvrage, en particulier des ouvrages de prise, de dissipation et d'injection du débit d'attrait dans le dispositif qui peuvent être d'importances très variables d'un aménagement à l'autre. ■

## 4 LES MODELES REDUITS PHYSIQUES

Les essais sur modèle réduit sont fréquemment utilisés lors de la conception des dispositifs de franchissement dont les écoulements sont trop complexes pour pouvoir être approchés de façon analytique.

Les études sur modèles sont généralement destinées :

- à visualiser et à optimiser l'écoulement dans la passe proprement dite pour s'attacher à ce que vitesses, chutes, niveau de turbulence restent compatibles avec les capacités de nage des espèces migratrices concernées et cela pour toutes les conditions de niveaux amont et aval rencontrées de part et d'autre de l'obstacle en période de migration,
- à dimensionner les dispositifs de prise et de restitution des débits complémentaires d'attrait ainsi que la protection de l'ouvrage contre les corps dérivants,
- à résoudre les problèmes liés à l'implantation de la passe, en particulier pour déterminer la position optimale de son entrée en fonction des conditions hydrodynamiques au pied de l'obstacle.

La majorité des types de passes (passes à fentes verticales, passe de type Ice Harbor, passes à ralentisseurs...) ont été mises au point grâce à des études systématiques sur modèle réduit.

Les échelles des modèles utilisés varient le plus souvent de 1/3 à 1/10 pour les modèles de passes proprement dits, à 1/10 - 1/25 pour les modèles destinés à optimiser l'implantation de l'ouvrage sur l'obstacle.

Les lois de similitude applicables aux écoulements dans les passes sont celles de Froude puisqu'il s'agit généralement d'écoulements à surface libre et à forte turbulence (forces de viscosité négligeables par rapport à celles dues à la turbulence).

Les études sur modèle, bien que coûteuses, sont indispensables pour l'implantation des dispositifs de franchissement sur les gros ouvrages. Elles permettent d'éviter certaines erreurs qu'il serait difficile et très coûteux de rectifier par la suite. ■

# LES TECHNIQUES DE CONTROLE DES PASSES A POISSONS

## 1 INTERET DU CONTROLE DES PASSES A POISSONS

Les opérations de suivi et de contrôle du fonctionnement des ouvrages de franchissement sont importantes à plusieurs titres :

- vérification de l'efficacité des ouvrages après leur mise en service et mise au point éventuelle,
- recueil d'informations techniques et biologiques indispensables à la conception et à l'optimisation des futurs ouvrages (retour d'expérience),
- connaissance des populations de poissons migrateurs et des caractéristiques de leurs migrations, nécessaire tant pour le dimensionnement d'éventuels ouvrages à construire sur le même cours d'eau en amont que pour la gestion rationnelle des populations.

Les techniques à mettre en œuvre se regroupent sous plusieurs rubriques :

- contrôle du fonctionnement hydraulique et mécanique de la passe,
- recueil d'informations biologiques qualitatives, indicatrices de la réalité du franchissement,
- comptage des poissons transitant dans les passes,
- relativisation des passages par rapport à la population migrante, qui représente en fait l'efficacité réelle de la passe. ■

# 2

## CONTROLE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ET MECANIQUE

Il s'agit là, soit de mesures simples, soit d'observations réalisées lors de la mise en service puis à intervalles réguliers, et destinées à s'assurer de la conformité de la passe aux critères définis lors de la conception du dispositif.

### 2.1 Paramètres hydrauliques

On procédera à la mesure des niveaux en divers points singuliers de l'ouvrage (amont, aval, bassins particuliers...) et, pour les passes à bassins, à celles des niveaux et des chutes pour chacun des bassins ainsi qu'à l'entrée de l'ouvrage. Ces mesures sont à réaliser dans plusieurs configurations de niveaux amont et aval.

On s'assurera que la structure des écoulements et le niveau d'agitation en divers points de la passe restent compatibles avec les exigences particulières des diverses espèces : jets plongeants ou de surface au droit des chutes, jet "vrillé", présence de courants de retour dans les bassins...

### 2.2 Paramètres mécaniques

Pour les passes à bassins ou à ralentisseurs, les contrôles porteront sur le fonctionnement des divers organes de régulation du débit ou de la chute (vannes asservies). Pour les passes "mécaniques" (ascenseurs, écluses) on contrôlera l'ensemble des mécanismes assurant le déroulement du cycle de fonctionnement. On vérifiera la durée de chacune des phases du cycle.

## 2.3 Obstruction et colmatage de la passe

Une attention particulière devra être apportée aux éventuelles obstructions par des corps dérivants qui peuvent, dans certaines zones sensibles (pertuis entre bassins, sortie de la passe, grilles d'injection des débits complémentaires d'appoint), gêner notablement le passage des poissons ou réduire l'attractivité de la passe sans se traduire obligatoirement par une perturbation hydraulique très visible. A cet égard, les orifices noyés sont à contrôler très attentivement. ■

# 3

## RECUEIL D'INFORMATIONS BIOLOGIQUES QUALITATIVES OU SEMI-QUANTITATIVES

En dehors de toute approche quantitative de l'efficacité d'un ouvrage, il existe un certain nombre d'informations indirectes qui peuvent indiquer si le fonctionnement de l'ouvrage est globalement satisfaisant ou non. Ces informations sont d'autant plus intéressantes s'il est possible de les recueillir également avant l'installation du dispositif de franchissement sur l'obstacle :

- observation de poissons remontant dans la passe,
- fréquence des sauts de migrateurs au pied de l'obstacle ou densité des poissons s'ils sont visibles,
- densité des pêcheurs à l'aval de l'obstacle (indicateur d'un blocage des poissons),
- indices d'abondance des migrateurs (observations, captures) et comptage des frayères (nids de ponte pour les salmonidés et les lamproies, "bull" pour les aloses) en amont de la passe.

Cette liste n'est pas exhaustive, et un certain nombre d'autres sources de renseignements peuvent servir à cette appréciation qualitative du fonctionnement d'une passe. ■

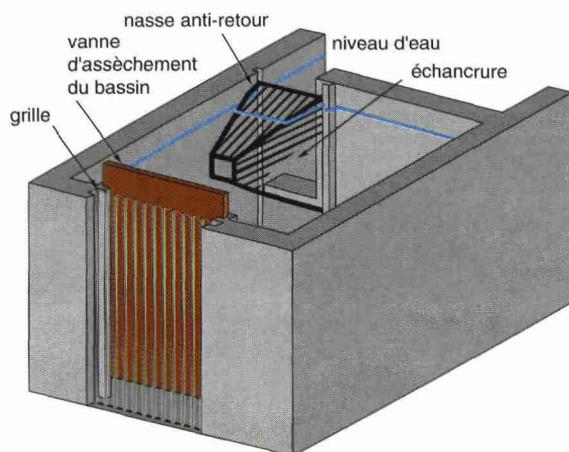
# 4 COMPTAGE DES POISSONS DANS LES PASSES

## 4.1 Piégeage

Dans son principe, le comptage par piégeage consiste à capturer les poissons dans un dispositif approprié installé dans la passe ou à sa sortie et à en effectuer manuellement le dénombrement avant de les relâcher à l'amont.

Le piège est généralement constitué d'une cage grillagée ou d'une chambre munie d'un système anti-retour (principe de la nasse) disposée sur le trajet du poisson. La récupération des poissons après capture fait appel à des systèmes très variés plus ou moins automatisés incluant la vidange partielle de la chambre de capture, le relevage, par un dispositif manuel ou électrique, de l'ensemble de la cage de capture, d'un fond mobile grillagé permettant d'isoler les poissons dans une faible épaisseur d'eau, ou d'une cuve disposée sur le fond de la chambre (Fig. 12.1).

Nasse implantée à l'amont d'une passe



Dispositif de piégeage installé dans une petite passe à bassins. Le poisson est récupéré manuellement par vidange du bassin

fig. 12.1

Le passage des poissons à l'amont peut se faire soit avec manipulation du poisson (épuisette, tube PVC), soit par déversement direct (vidange d'une cuve par gravité), soit par ouverture de grilles autorisant l'échappement du poisson vers l'amont.

Le dimensionnement du piège doit prendre en compte le nombre maximal instantané de poissons susceptibles d'être présents dans l'installation. Il sera donc fonction des pics journaliers de migration des différentes espèces et de la fréquence des contrôles. Le volume du piège est calculé en prenant en compte un volume minimal de l'ordre de 15 litres/kg de poisson stabulé [17 ; 7].



Dispositif de comptage par le relevage du fond mobile d'un piège

Les dimensions les plus courantes des pièges rencontrés en France sont de 2.5 m à 4.5 m pour la longueur, de 1.5 m à 3.0 m pour la largeur, et de 1 m à plus de 2.5 mètres pour la profondeur.

Les opérations de comptage doivent être effectuées à intervalles réguliers (en général une à plusieurs fois par jour) pour éviter la stabulation prolongée des poissons. Une surveillance pour prévenir les phénomènes de colmatage et le braconnage est par ailleurs nécessaire.

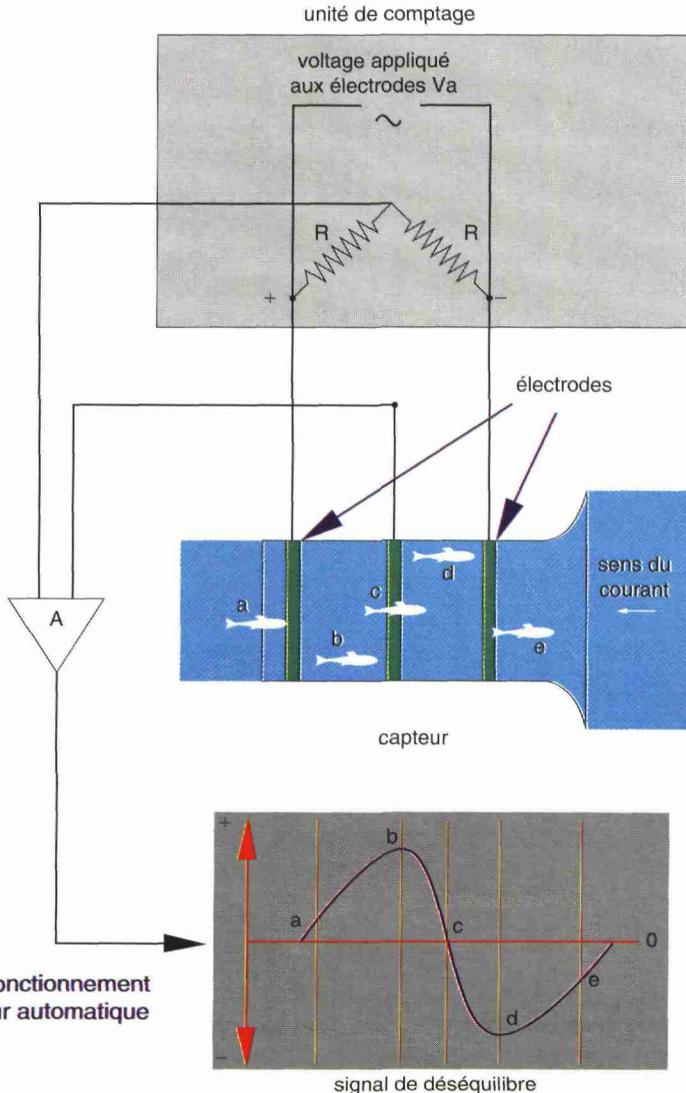
Les coûts d'un dispositif de piégeage sont très variables suivant la taille du dispositif de franchissement, la sophistication du système de manipulation et la nature des espèces migratrices concernées. Ils peuvent varier de moins de 10000 F à 150000 F, correspondant à 1% à 10% du coût de la passe. Les coûts de maintenance et de gestion de ces ouvrages sont en général assez élevés, essentiellement du fait de la main-d'oeuvre nécessaire aux opérations. Ils sont très variables d'un site à l'autre suivant l'abondance et la nature des migrateurs, le niveau d'automatisation du piège et la lourdeur - souvent imprévisible - des opérations d'entretien et de nettoyage des grilles du dispositif. Suivant les sites, de 0.5 à 4 personnes sont nécessaires à la gestion des pièges durant la ou les périodes de fonctionnement.

Le principal avantage de ce type de contrôle est une mise en œuvre relativement aisée, notamment pour les ouvrages de petite taille. Les autres avantages résident dans la fiabilité de détermination des espèces, la possibilité de recueil des caractéristiques biologiques des poissons (taille, poids, sexe, etc.) et de prélèvement d'individus pour procéder à leur marquage ou pour leur utilisation comme géniteur de repeuplement.

Les inconvénients sont les risques de blessures ou de traumatismes (voire de mortalité sur certaines espèces fragiles comme l'alose), la lourdeur de la maintenance et des besoins en personnel sur les ouvrages situés sur les grands cours d'eau, ainsi que l'impossibilité de recueillir des données en continu. Un autre inconvénient, difficile à apprécier, est l'impact souvent négatif de l'ouvrage de piégeage sur le fonctionnement de la passe, certaines espèces, comme l'alose, se montrant particulièrement méfiantes à s'engager dans un piège.

## 4.2 Compteur automatique à résistivité

Le principe du compteur à résistivité est basé sur la différence de conductivité entre l'eau et le corps du poisson : on oblige le poisson à franchir une série de trois électrodes immergées constituant deux branches d'un pont de Wheatstone alimenté en courant alternatif, les deux autres branches étant formées de résistances fixes (Fig. 12.2).



Principe de fonctionnement d'un compteur automatique à résistivité

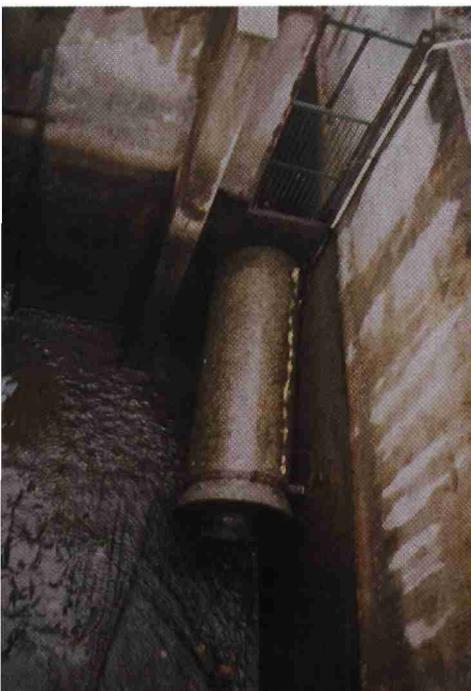
fig. 12.2

signal de déséquilibre

Le passage du poisson dans le champ des électrodes induit un signal de déséquilibre du pont qui est analysé pour déterminer le sens de passage du poisson et en classifier la taille (séparation en deux classes de taille en général). Un rattrapage automatique de la sensibilité du compteur permet de maintenir constantes les tailles de poissons discriminées lorsque la conductivité de l'eau varie.

Un circuit détecteur de niveau interrompt le fonctionnement du compteur dès que la hauteur d'eau sur les électrodes est insuffisante de façon à éviter les faux comptages induits par les ondulations de la surface libre.

L'utilisation d'un tel type de compteur est courante en Grande-Bretagne, où il a fait l'objet d'un programme de recherche intense dans les années 70 de la part du Ministère de l'Agriculture (MAFF) [15 ; 28]. Plusieurs modèles sont commercialisés : compteurs du NSHEB et compteur Sharkey de Marine Electrics. Un compteur a également été développé en France par les Ets Fron, en collaboration avec le CEMAGREF et l'INRA [13 ; 37], ceci pour faciliter la maintenance et réduire les coûts d'investissement et de fonctionnement par rapport à du matériel étranger.



La géométrie du capteur peut être variable suivant le site. Lorsque le compteur est installé dans une passe à poissons, on choisit généralement des électrodes circulaires installées dans un tube implanté dans un bassin de la passe. Le diamètre du tube est fonction de la configuration de la passe et de son débit ainsi que de la taille minimale des poissons à compter, les diamètres couramment utilisés varient généralement de 0.30 m à 0.50 m.

Le compteur est généralement couplé à un enregistreur d'événements permettant de dater les passages, ceci autant pour l'importance biologique que revêt cette information que pour pouvoir éliminer les éventuels artefacts de comptage.

Capteur pour compteur automatique à résistivité implanté dans l'échancrure d'une passe

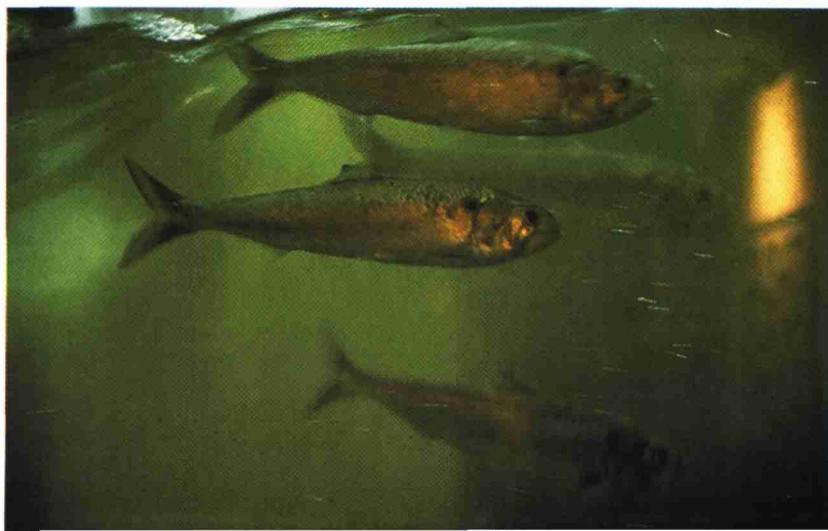
La fiabilité du comptage (qui peut être supérieure à 80%) dépend avant tout de la qualité de l'implantation du capteur et de la fréquence de surveillance :

- Il convient d'éviter, dans le capteur, les turbulences excessives et l'entraînement d'air susceptible d'induire des faux comptages. On doit y assurer par ailleurs des vitesses de courant suffisamment fortes (supérieures à 1 m/s) pour éviter que le poisson ne stationne entre les électrodes.
- Un suivi fréquent (de préférence quotidien et au minimum hebdomadaire) doit être assuré par un personnel qualifié. Celui-ci, sans posséder obligatoirement des connaissances en électronique, doit absolument avoir suivi une formation minimale devant lui permettre de détecter les principales causes d'anomalies ou de dysfonctionnement : dégradation du capteur, défaut d'alimentation, faux comptages induits par des entraînements d'air ou des vortex, pannes dans le circuit logique...

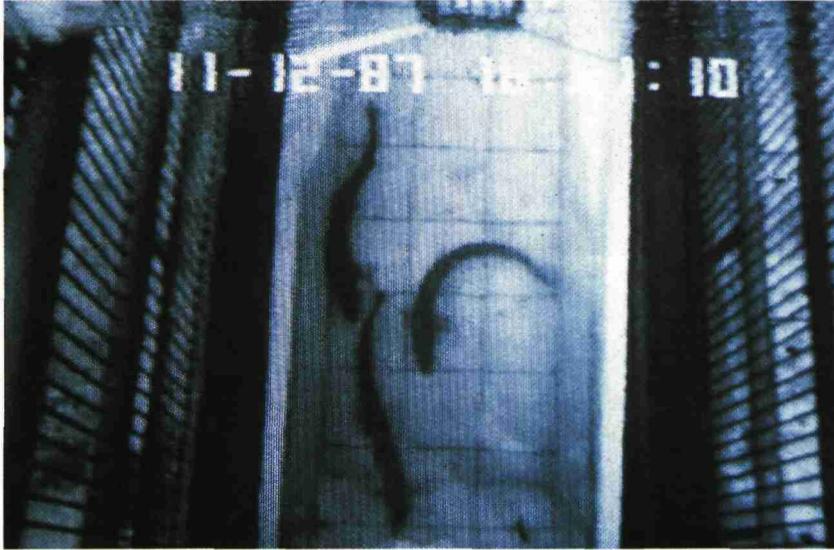
L'avantage du compteur réside dans ses faibles coûts d'investissement (de l'ordre de 20 000 F pour le compteur, entre 5 000 F et 10 000 F suivant le site pour la fabrication et l'installation du capteur) et de maintenance (besoin en personnel très réduit).

L'inconvénient majeur, inhérent à son principe, est l'absence de discrimination des espèces autrement que par leur taille. Son utilisation est pratiquement limitée aux cours d'eau à grands salmonidés migrateurs où l'on peut espérer compter et distinguer saumons, truites de mer et truites uniquement sur le critère de taille. Encore faut-il s'assurer que sur ces cours d'eaux, il n'y a pas de risque de perturbation des comptages par d'autres espèces migratrices. A ce titre, la lamproie s'avère très perturbatrice du fait de sa propension à se fixer par sa ventouse sur les capteurs.

Visualisation  
d'aloses  
derrière une  
vitre de  
comptage



Contrôle vidéo  
des poissons  
dans un  
ascenseur



### 4.3 Comptage visuel ou par enregistrement vidéo

Le comptage visuel est une technique de comptage en continu sans manipulation des poissons qui permet un dénombrement en s'affranchissant des inconvénients majeurs du piégeage. Il consiste à faire passer les poissons dans une zone où ils soient suffisamment visibles pour être identifiables et dénombrables. Deux techniques de visualisation sont utilisées : visualisation externe "par-dessus" où l'on force le poisson à franchir une zone de couleur claire à faible profondeur sur laquelle il se détache en "ombre chinoise" et visualisation latérale où l'on oblige le poisson à passer devant une baie vitrée verticale. Cette dernière solution offre, par rapport à la première, l'avantage de permettre la reconnaissance de la majorité des espèces dans la mesure où les critères morphologiques de distinction sont beaucoup plus apparents sur une vue latérale que sur une vue "par-dessus".

Dans les passes à bassins ou à ralentisseurs, la visualisation externe est réalisée grâce à l'installation d'une plaque horizontale en amont d'un dispositif de guidage des poissons (grille, échancrure d'une cloison) immergée sous une profondeur d'eau ne dépassant pas 0.30 m. Pour les écluses à poissons l'installation de la plaque se fait directement sur la vanne de régulation amont. Dans les ascenseurs à poissons à cuve de petite taille (épaisseur d'eau ne dépassant pas 0.40 m), la visualisation se fait directement au-dessus de la cuve dont le fond est peint d'une couleur claire.

Pour la visualisation latérale on aménage une restriction de passage (à l'aide de grilles déflectrices ou d'un rétrécissement de la structure) au droit de la baie vitrée forçant ainsi le poisson à passer à proximité. Une largeur minimale de passage de 40 à 50 cm est en général adoptée afin de ne pas perturber les poissons. Elle peut être réglable (0.30 m à 1 m) pour s'adapter aux variations de turbidité de l'eau. Une plaque de visualisation, de couleur claire, en général carroyée de façon à avoir une idée de la taille des poissons, est placée au droit de la vitre (Fig. 12.3).

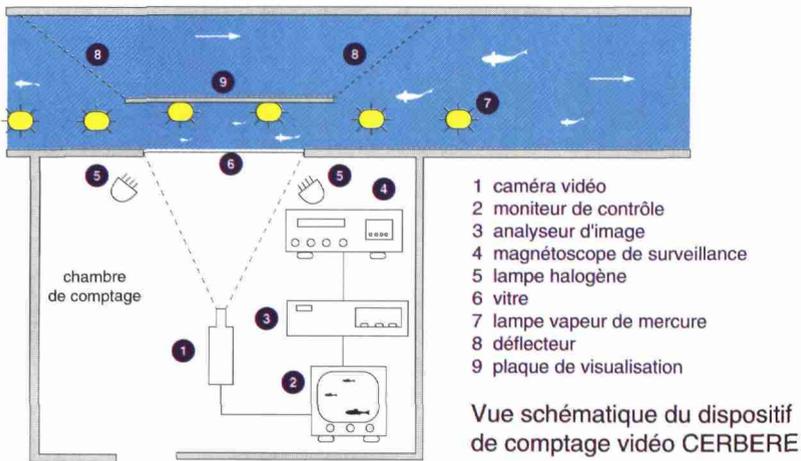


fig. 12.3

Pour que le comptage se fasse dans de bonnes conditions, il est nécessaire que les poissons passent devant le dispositif de visualisation avec une vitesse compatible avec les possibilités de détermination des espèces en temps réel, qu'il n'y ait pas d'arrêt et le moins possible d'allers et retours des poissons devant le dispositif. A cet effet, on maintient dans la zone d'observation une vitesse d'écoulement de l'ordre de 1 m/s à 1.5 m/s (variable suivant les espèces et les sites), et on implante de préférence le dispositif le plus en amont possible de la passe de façon à s'affranchir des allers et retours fréquents de certaines espèces migratrices dans les passes. Un éclairage de la zone de visualisation s'impose pour maintenir des conditions optimales de visibilité quelle que soit l'heure de la journée.

Il convient par ailleurs d'éviter avec soin la création, au droit de la vitre, de zones de décollement dans lesquelles certains individus ou espèces auront tendance à stationner.

Le comptage peut être réalisé en temps réel : il nécessite alors la présence d'un observateur permanent. Cette solution, très lourde en temps, se justifie pour les très gros ouvrages (rivière Columbia, USA) où les passages de poissons sont continus. Elle présente en outre l'inconvénient de ne pouvoir effectuer sur les passages aucune analyse différée de certains paramètres non saisissables en temps réel (taille des poissons, comportement des diverses espèces, vitesse de passage).

Les progrès récents en matière de technique vidéo - en particulier dans la technique de surveillance - ont permis d'automatiser dans une certaine mesure et d'alléger les opérations de comptage visuel réalisées par des observateurs *in situ*. Plusieurs types de solutions sont adoptés à l'heure actuelle en France.

Pour le contrôle des ascenseurs à salmonidés ayant une cuve à faible capacité (profondeur d'eau de l'ordre de 0.20 m dans le fond de la cuve en phase de remontée), l'automatisation est facilitée du fait du caractère discontinu des passages. On utilise une caméra fixée à l'aplomb de la cuve et l'on met automatiquement en route pendant quelques secondes un magnétoscope lors de la remontée. Une installation de ce type fonctionne à l'ascenseur à saumons de Poutès sur la rivière Allier depuis 1986. Elle a permis un comptage 24h/24 (12 remontées par jour) avec un travail de dépouillement n'excédant pas une heure par mois et une fiabilité supérieure à 95%.

Une méthode similaire a été utilisée ponctuellement sur l'écluse à poissons de Soix sur le Gave d'Aspe : une plaque de visualisation a été installée au niveau de la sortie, sur la vanne amont. Cette méthode nécessite cependant de filmer en continu lors de la phase de remplissage et de sortie et les durées de dépouillement se révèlent beaucoup plus longues que dans le cas des ascenseurs.

Pour les vitres immergées, où les passages sont continus, on peut procéder de deux façons:

- enregistrement vidéo en continu à vitesse réduite et dépouillement des bandes vidéo en accéléré grâce à un magnétoscope à temps échelonné. Les enregistrements s'effectuent de telle sorte qu'une bande vidéo de trois heures dure 24 h ou 48 h, soit une réduction de vitesse d'enregistrement dans un rapport de 1/8 à 1/16. Le dépouillement devient cependant rapidement une opération très longue et fastidieuse : le dépouillement d'une bande de 24 heures peut demander 3.5 à 5 heures dès que le nombre des poissons devient important, du fait des nécessités de retour en arrière très fréquentes pour la détermination des espèces,

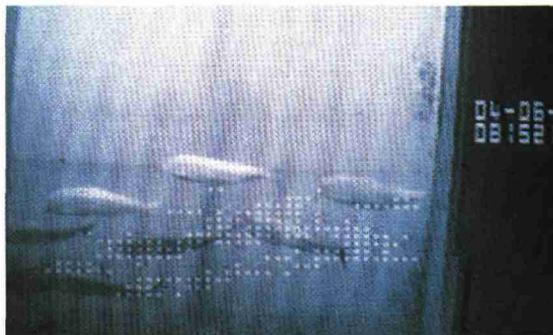
- automatisation de l'enregistrement avec détection des poissons lors de leur arrivée dans la zone de comptage, de façon à n'enregistrer que les épisodes de passage par enclenchement automatique d'un magnétoscope. La Direction des Etudes et Recherches d'EDF [113] a mis au point un système utilisant la détection du poisson au niveau de la vitre elle-même par un traitement sommaire de l'image vidéo (Fig. 12.3). Le système, dénommé CERBERE, comprend une caméra vidéo filmant la vitre en permanence reliée à un magnétoscope à temps échelonné (type Panasonic NV 8051 ou AG 6720) ayant la particularité de tourner à vitesse réduite ralentie (480 h pour une bande classique de 3 h) et de se mettre en enregistrement à vitesse normale sur une alarme extérieure. Cette alarme est générée par un analyseur d'image (matériel FOR-A SVS660) lors de l'intrusion d'un poisson dans l'image vidéo. Le système permet donc d'enregistrer uniquement les séquences pendant lesquelles un poisson est présent devant la vitre tant à la montée qu'à la descente. Un certain nombre de réglages de sensibilité permettent d'étalonner le dispositif en fonction des caractéristiques du site et des poissons.

La détermination des espèces et leur dénombrement s'effectuent en visionnant les enregistrements *a posteriori*. Ce système a été utilisé avec succès pour le comptage 24 h/24 dans les ouvrages situés sur les grands cours d'eau : Tuilières et Mauzac sur la Dordogne, Golfech et le Bazacle sur la Garonne. Il a permis de comptabiliser avec un seul observateur jusqu'à plusieurs milliers de poissons par jour appartenant à plus de 20 espèces différentes en donnant des indications précieuses sur les rythmes migratoires.

Les durées théoriques de dépouillement vont de 10 mn par 24 h de surveillance pour moins de 10 poissons/jour jusqu'à 7 h par 24 h pour un comptage de 5000 poissons/jour. En réalité ces valeurs sont fonction des conditions de milieu (visibilité, déclenchements parasites par des corps dérivants) et surtout des espèces comptabilisées (facilité de distinction des espèces, vitesse de passage, passages isolés ou en bancs, allers et retours, stabulation devant la vitre). A l'expérience des comptages *in situ*, il ressort qu'en moyenne les durées de dépouillement sont de l'ordre de 4% à 10% du temps réel de surveillance (soit 1 h à 2.5 h par 24 h de suivi) pour les faibles passages (inférieurs à 400 poissons/jour) et de l'ordre de 15% à 20% du temps réel (soit 3.5 h à 5 h par 24 h de suivi) pour les passages nombreux (3000 à 5000 poissons/jour).



Système vidéo de comptage automatique "CERBERE" (passe à poissons de Golfech sur la Garonne)



Enregistrement des passages d'aloses par le système vidéo automatique "CERBERE"

La fiabilité de détection du poisson devant la vitre dépend de divers paramètres de milieu (éclairage, turbidité de l'eau pour laquelle un minimum de 0.70 m au disque de secchi est requise) et des espèces de poissons considérées (en fonction de leur taille, de leur couleur, de leur vitesse et de leur profondeur de nage). En moyenne, dans de bonnes conditions de visibilité, la fiabilité de détection est excellente (90% à 100%) pour les salmonidés, l'alose, et les cyprinidés de taille supérieure à 25 cm, bonne (70% à 90%) pour les lamproies, barbeaux et cyprinidés de taille comprise entre 10 cm et 25 cm, et moyenne (50% à 70%) pour l'anguille et les poissons de taille inférieure à 10 cm.

Les caractéristiques de l'éclairage de la zone de visualisation sont particulièrement importantes vis-à-vis du fonctionnement du système CERBERE dans la mesure où elles agissent à la fois sur la capacité de détection des poissons par le système et sur le comportement des poissons. Il est nécessaire d'éclairer simultanément au-dessus de la surface de l'eau et à travers la baie vitrée. L'éclairage de surface, suffisamment puissant au-dessus de la vitre, (environ 2000 W en lampes halogène, 500 W en lampes à vapeur de mercure) doit s'étendre en intensité dégradée à plusieurs mètres en amont et en aval de la vitre pour éviter des perturbations de comportement (stagnation devant la vitre, demi-tours), surtout au cours de la nuit.

Une surveillance régulière (quotidienne à trihebdomadaire) est absolument nécessaire pour changer les bandes vidéo, contrôler les réglages du dispositif, nettoyer la vitre de visualisation et la zone de passage des poissons.

Le coût d'une installation de comptage visuel comprend la station de comptage elle-même (local, dispositif de guidage pour les poissons, éclairage) et le système vidéo. Le coût de la station est variable suivant les caractéristiques du site et la sophistication de l'installation : de 100 000 F à 200 000 F. Le coût d'un système vidéo permettant un contrôle en continu et un dépouillement simultané (minimum de 2 magnétoscopes, 1 caméra vidéo, deux moniteurs) est le suivant :

- de 20 000 F à 40 000 F pour un système de surveillance d'ascenseur à poissons (possibilité d'utilisation de magnétoscopes "grand public"),
- de 60 000 F à 80 000 F pour un système de suivi "en continu" mettant en œuvre des magnétoscopes type "surveillance" sans dispositif d'enregistrement automatique,
- de 100 000 F à 120 000 F pour le système "CERBERE" complet comprenant l'analyseur d'image.

Les avantages du comptage visuel sont les suivants : absence de manipulation des poissons, possibilité de comptage des espèces difficiles à piéger (alose), charge en personnel moins lourde que pour le piégeage, précision extrême sur la détermination des rythmes de migrations et sur le comportement de l'ensemble des espèces.

Les inconvénients sont l'impossibilité de comptage par forte turbidité de l'eau et la difficultés de détermination de certaines espèces. Pour les systèmes automatisés (CERBERE, par exemple) on se heurte également à l'efficacité partielle de détection de certaines espèces, et à la sensibilité du système aux corps dérivants (herbiers, en particulier) qui provoquent des déclenchements intempestifs de l'enregistrement vidéo. Dans les zones où de nombreuses espèces sont présentes une grande partie de l'année, le travail de dépouillement des bandes vidéo reste relativement lourd et fastidieux.

#### 4.4 Comptage et reconnaissance automatique par analyse d'image

Devant la lourdeur des opérations de dépouillement de comptage visuel dès que le stock de migrateurs devient important et suite aux progrès récents dans le domaine de la vision assistée par ordinateur, il

était tentant de chercher à aller plus loin dans la mise en place de systèmes automatiques. Des recherches ont été récemment entreprises par le CEMAGREF, EDF et le laboratoire d'électronique de l'ENSEEIH à Toulouse [62] dans le but de mettre au point un système automatique reposant sur une machine de vision. Celle-ci devra reconnaître et compter un certain nombre d'espèces ou groupe d'espèces, en priorité les grands salmonidés migrateurs (saumon, truite de mer), les aloses, les lamproies, les anguilles et éventuellement les barbeaux et les brèmes au-dessus d'une certaine taille. Il devra être capable de conserver une trace (date et heure de passage, image ou contour) pour certaines espèces particulières.

Le principe du système automatique de reconnaissance et comptage est de numériser chaque image vidéo, de la segmenter pour en isoler les objets, d'en mesurer un certain nombre de caractéristiques de forme, d'identifier ces objets (reconnaissance de l'espèce s'il s'agit d'un poisson) et de les compter par un suivi dynamique.

L'amélioration des conditions d'acquisition des images a été le problème crucial du début de l'étude puisqu'il s'est révélé impossible, sur des images prises dans les conditions actuelles d'éclairage des stations de contrôle, d'obtenir des résultats qui soient exploitables après traitement : problème de non-uniformité de l'éclairage, de contraste insuffisant, d'effet de flou sur certaines parties essentielles du poisson comme la nageoire caudale empêchant d'isoler du fond les formes significatives.

L'utilisation d'une caméra avec obturateur électronique (temps de pose de l'ordre de 1 à 4 millisecondes) élimine l'effet de flou sur les contours. Le recours à un rétro éclairage a permis par ailleurs d'obtenir des silhouettes se détachant bien du fond ; il a cependant l'inconvénient d'éliminer toute information sur la texture.

Dans l'état actuel d'avancement de l'étude, la discrimination des espèces-cibles par reconnaissance de forme (images figées) apparaît réalisable. L'application de ces résultats à la reconnaissance et au comptage en temps réel (suivi dynamique du poisson sur une séquence d'image) fait l'objet d'une poursuite des recherches. Il est encore difficile de se prononcer sur l'échéance de mise en service opérationnelle d'un tel système. ■

# 5 ESTIMATION DE L'EFFICACITE REELLE D'UN OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT

L'efficacité réelle d'une passe s'évalue en termes de proportion de migrateurs présents au pied de l'obstacle empruntant cette passe et en termes de retard à la migration. Deux types de méthodes sont utilisables dans cette approche.

## 5.1 Méthodes quantitatives ou statistiques

Une première méthode, directe, consiste à mesurer ou à estimer la taille de la population à l'aval de l'ouvrage et à la comparer aux passages déterminés par comptage. La taille de la population peut être appréhendée par comptage dans un piège ou un dispositif de franchissement situé à l'aval ou par suivi quantitatif de pêcheries.

Une autre méthode, indirecte, consiste à marquer un certain nombre de poissons à l'aval de l'ouvrage et à dénombrer les poissons marqués empruntant la passe. L'efficacité de l'ouvrage est donnée par la formule:

$$E = 100(N_p / CN_m)$$

$E$  : efficacité de la passe en %.

$N_p$  : nombre de poissons marqués passant dans l'ouvrage.

$N_m$  : nombre de poissons marqués à l'aval.

$C$  : coefficient ( $0 < C \leq 1$ ) exprimant l'influence du marquage.

La population de migrateurs présents au pied de l'ouvrage peut être estimée en effectuant un comptage de la totalité des passages :

$$N_e = CN N_m / N_p$$

$N_e$  : population estimée à l'aval de l'ouvrage.

$N$  : nombre total d'individus ayant transité dans la passe.

En pratique, toute la difficulté consiste à estimer l'effet du marquage (coefficient  $C$ ) qui peut être négligeable pour les espèces résistantes (salmonidés par exemple) mais important pour certaines

espèces sensibles (alose par exemple) chez lesquelles le marquage peut induire des modifications de comportement migratoire, voire des mortalités significatives.

## 5.2 Méthodes comportementales

Ces méthodes destinées à mettre en évidence les facteurs influant sur l'efficacité des ouvrages (localisation des entrées, débit dans l'ouvrage, effet de certains paramètres de milieu) consistent à suivre directement les déplacements et le comportement de quelques individus à l'approche des ouvrages. On utilise à cet effet des techniques télémétriques qui reposent sur la détection à distance, à l'aide de récepteurs appropriés, de la position d'un émetteur implanté sur le poisson. Deux techniques de repérage télémétrique des poissons sont utilisées dans le monde :

- la télémétrie ultrasonique utilisant des émetteurs dans la bande de fréquence 20-100 kHz [110]. Elle présente l'avantage de pouvoir suivre des poissons dans des eaux de conductivité quelconque (eau douce et eau de mer) mais a comme inconvénients d'être perturbée par tous les bruits ambiants (écoulements turbulents, fonctionnement des turbines...), de nécessiter un repérage à l'aide d'hydrophones immergés, et d'être "gourmande" en énergie d'émission, d'où la faible durée de vie des émetteurs (quelques dizaines de jours au maximum),
- la radiotélémétrie utilisant des émetteurs radio dans la bande de fréquence 20-180 MHz [73 ; 109 ; 114]. Elle présente l'avantage de pouvoir utiliser des antennes aériennes ou immergées, à des distances relativement importantes (jusqu'à 2 km dans les meilleures conditions), de ne pas être perturbée par les bruits ambiants du cours d'eau ou des usines hydroélectriques, et d'être peu gourmande en énergie, d'où la possibilité d'utilisation d'émetteurs de petite taille sur des durées de plusieurs mois. Elle est cependant strictement limitée aux eaux douces du fait de la très forte absorption des ondes radio par l'eau dès que la conductivité dépasse 300 à 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

De ce fait, c'est essentiellement la radiotélémétrie (ou "radiopistage") qui est utilisée pour le suivi des migrateurs en rivière (conductivité inférieure à 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), la télémétrie sonique étant réservée aux études en estuaire et en mer.

L'émetteur miniaturisé (poids de 2 g à 25 g suivant la taille des migrateurs concernés) est implanté sur le poisson de façon interne (estomac ou cavité générale) ou externe (la plupart du temps sur la musculature dorsale au droit de la nageoire dorsale). Pour les grands migrateurs adultes ne se nourrissant pas à la remontée (saumon, alose), l'implantation dans l'estomac est la plus facile à réaliser et la moins perturbante pour le poisson. Après anesthésie du poisson, la marque est poussée au fond de l'estomac à l'aide d'un tube applicateur. L'antenne est soit passée entre les arcs branchiaux et rabattue le long du ventre (saumon, truite de mer), soit pour les espèces plus fragiles (alose), laissée à l'angle du maxillaire.

Le plus grand soin doit être apporté à la manipulation du poisson, tant au niveau de la capture et de l'anesthésie que de l'implantation de l'émetteur, de façon à éviter de perturber son comportement.

Le suivi des poissons marqués peut revêtir de multiples aspects suivant la taille des cours d'eau, la nature de l'étude ou le niveau de précision requis :

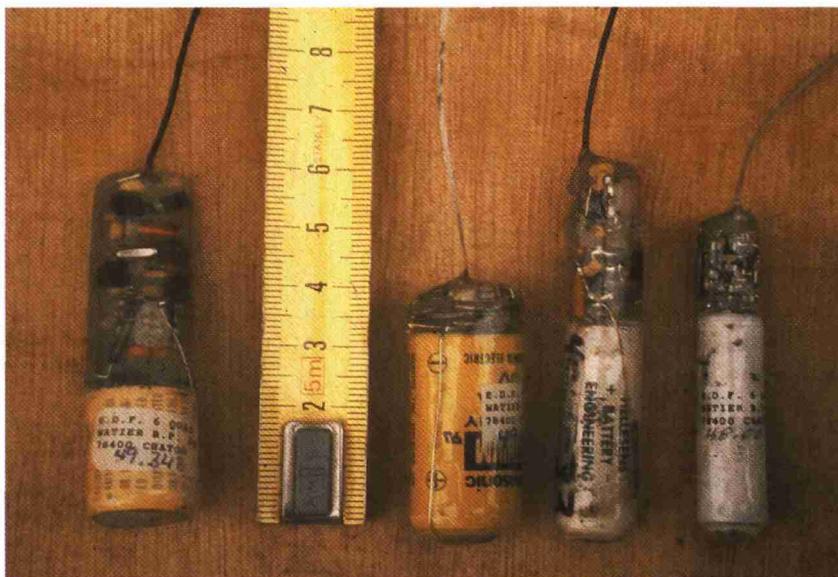
- pistage manuel : le poisson est repéré à l'aide d'antennes aériennes portables directionnelles (type boucle, Adcock) ou non directionnelles (type fouet) qui peuvent être manipulées à pied ou à bord de véhicules divers (voiture, bateau, avion). Pour un repérage de grande précision (quelques cm), il est possible d'utiliser des antennes-boucles immergeables fixées à l'extrémité d'une perche. Dans les cours d'eau de grande largeur, le positionnement précis du poisson fait appel à la *biangulation* ou à la *triangulation*, consistant à relever les azimuts de l'émetteur à l'aide de deux ou trois récepteurs à poste fixe, la position du poisson étant donnée par l'intersection des azimuts,
- repérage automatique : la détection automatique de présence des poissons dans une zone est réalisable à l'aide de dispositifs d'enregistrements graphiques ou à mémoire (possibilité de traitement direct des résultats par informatique) annexés au récepteur. Suivant la taille de la zone à surveiller, il est possible d'utiliser des antennes aériennes (couverture importante) ou des antennes immergées (couverture restreinte, comme le bassin d'une passe à poissons par exemple). La présence des poissons dans la zone concernée est enregistrée en fonction du temps. La combinaison judicieuse de plusieurs postes d'enregistrement sur un site, permet de suivre

automatiquement, par recouplement, les déplacements de poissons. Ces stations nécessitent l'emploi de récepteurs à scanner (défilement automatique des fréquences de chacun des poissons) ou de récepteurs travaillant en parallèle sur plusieurs canaux.

Le matériel utilisé dans les études réalisées récemment en France [114] provient des USA (marque Advanced Telemetry Systems). Il n'existe pas à l'heure actuelle de fabricant français pour ce type de matériel.

La mise en œuvre de cette technique est relativement coûteuse tant en matériel qu'en main d'œuvre : le coût de l'équipement est d'environ 15 000 F pour un récepteur portable, 15 000 F pour un enregistreur graphique, et de 1 000 à 1 500 F par émetteur, ce dernier étant considéré comme perdu après étude. Le personnel nécessaire à l'étude est estimé à 1 à 2 personnes pour une petite étude réalisée avec des systèmes d'enregistrement des déplacements de poissons et 3 à 10 personnes pour une étude de plus grande ampleur nécessitant un repérage manuel des poissons.

Quoique coûteuse, cette technique dont la spécificité est de pouvoir "observer" en direct le comportement des poissons dans les dispositifs de franchissement et à leur approche, s'avère irremplaçable pour obtenir rapidement des informations sur leur fonctionnalité et pour permettre d'affiner certains critères de conception particuliers. ■



Emetteurs miniaturisés pour le radiopistage

---

# LA MIGRATION DE DEVALAISON : PROBLEMES ET DISPOSITIFS

## 1 ESPECES ET STADES CONCERNES PAR LE DEVALAISON

La dévalaison ou “avalaison”, c’est-à-dire la migration qui s’effectue en descendant les cours d’eau vers la mer ou vers un lac concerne les juvéniles des espèces potamotoques (saumon, truite de mer, truite de lac, truite, alose), les adultes d’espèces potamotoques après la reproduction (salmonidés, alose finte) et les adultes d’espèces thalassotoques avant la reproduction (anguille). ■

## 2 PROBLEMES POSES DANS LES COURS D’EAU AMENAGES

Les divers problèmes posés aux migrateurs lors de la dévalaison ont plusieurs origines : modifications du milieu résultant de la création de retenues, transit dans les déversoirs et évacuateurs de crues, transit dans les turbines hydroélectriques, entraînement dans les prises d’eau industrielles ou agricoles.

En règle générale, l’ensemble de ces problèmes a été bien étudié sur les salmonidés ; par contre l’on dispose de relativement peu d’information sur les autres familles de migrateurs.

## 2.1 Effets dus à la présence de retenues

La création d'une retenue sur un cours d'eau induit des modifications des vitesses d'écoulement, de la qualité de l'eau et des peuplements piscicoles qui peuvent entraîner une augmentation parfois importante des mortalités au cours de la migration de dévalaison : augmentation de la prédation par les oiseaux ou les poissons carnassiers (jusqu'à 85% de mortalité des smolts dans une retenue écossaise), mortalité directe dans les retenues eutrophisées, sensibilité accrue aux maladies et au parasitisme... L'importance de ces mortalités peut être très variable suivant les sites.

Les solutions relèvent de mesures de gestion (amélioration de la qualité de l'eau des retenues) ou de compensation (déversement de juvéniles pour compenser les mortalités).

## 2.2 Passage par les déversoirs et évacuateurs de crues

Le passage par les déversoirs et évacuateurs de crues [8 ; 101 ; 103 ; 14] peut entraîner des mortalités directes (blessures, chocs...) ou indirectes (sensibilité accrue à la prédation des poissons choqués ou désorientés). Les études conduites sur plusieurs sites à l'étranger (USA, Canada...) ont montré que ces mortalités étaient extrêmement variables d'un site à l'autre : 0% à 4% pour les barrages de Bonneville et McNary (27 m de hauteur) sur la rivière Columbia, 17% à 64% pour les barrages de Baker river (76 m) et de Cleveland (73 m).

Les causes de mortalités sont de plusieurs ordres : cisaillement hydraulique sur les déversoirs et dans les turbulences en pied de chute, variations brusques des vitesses et des pressions lors de l'impact sur le plan d'eau, chocs mécaniques sur les radiers ou les dissipateurs d'énergie.

Lors du franchissement d'un déversoir, le poisson, dans certains cas, se trouve en situation de chute libre. Il atteint cependant, à partir d'une certaine hauteur de chute, une vitesse limite qui est fonction de sa taille : environ 12 m/s (vitesse atteinte après 25-30 m de chute) pour des poissons de 10 à 13 cm, 15-16 m/s (au bout de 30-40 mètres) pour des poissons de 15 à 18 cm, plus de 58 m/s (atteinte après plus de 200 m de chute) pour des poissons de 60 cm.

Des expérimentations ont mis en évidence l'apparition de dommages significatifs (lésions au niveau des branchies, des yeux et des organes internes) dès que la vitesse d'impact du poisson sur le plan d'eau dépasse 15-16 m/s et ce, quelle que soit sa taille [8]. Cette vitesse critique est atteinte après une chute variable suivant la taille du poisson : environ 30-40 m pour des poissons de 15-18 cm et 13 m seulement pour les poissons d'une taille supérieure à 60 cm.

Les poissons de taille inférieure à 10-13 cm, dont la vitesse limite demeure inférieure à la vitesse critique, ne subissent aucun dommage quelle que soit la hauteur de la chute. Les poissons de taille plus importante ne subissent aucune mortalité tant que la vitesse d'impact demeure inférieure à cette vitesse critique de 16 m/s, ce qui correspond à une chute variant d'une douzaine de mètres pour les gros individus (taille > 60 cm) à une trentaine de mètres pour les poissons de 18 cm, pour qui la vitesse terminale est très proche de la vitesse critique.

Lorsqu'un poisson, entraîné par un déversoir, demeure confiné à l'intérieur de la lame d'eau, sa survie serait identique [8] à celle résultant d'une chute libre induisant la même vitesse d'impact au niveau du plan d'eau. Une lame d'eau atteint la vitesse critique à partir de laquelle le poisson subit des dommages par cisaillement hydraulique au bout de 13 m de chute. Au-dessus de cette limite, les mortalités deviennent significatives et augmentent rapidement avec la chute (100% de mortalité pour 50-60 m de chute).

En conclusion, pour les poissons de petite taille (longueur inférieure à 15-18 cm), il est toujours moins dommageable de tomber en chute libre dans la mesure où leur vitesse terminale est inférieure à la vitesse critique de 16 m/s ; pour les poissons de plus grande taille, il est équivalent de tomber en chute libre ou de demeurer confiné dans la lame d'eau.

Les déversoirs en "saut de ski", où la vitesse d'impact sur le plan d'eau peut être réduite et où le poisson a la possibilité de tomber en chute libre en dehors de la veine d'eau, sont préférables aux autres types d'évacuateurs, et ceci tout particulièrement pour les poissons de petite taille.

Dans tous les cas, les chances de survie sont d'autant plus grandes que la turbulence au pied de la chute est faible et que les chocs mécaniques sont réduits (volume d'eau important, absence de dissipateurs d'énergie ou plus généralement de structures agressives).

A ces risques de mortalité directe, vient s'ajouter un risque de mortalité indirecte. Les traumatismes et/ou la désorientation des poissons après la chute les rendent plus sensibles à la prédation par des oiseaux ou par des poissons carnassiers : jusqu'à 30% de mortalité ont pu être observés sur certains sites [103].

## 2.3 Passage dans les turbines hydrauliques

Le passage à travers les turbines hydrauliques soumet le poisson à diverses contraintes susceptibles d'entraîner des mortalités importantes : risques de chocs contre les parties fixes ou mobiles de la turbine (au niveau des directrices, des aubes ou des pales de la roue), accélération et décélération brutales (passage de 3-5 m/s en entrée de roue à 10-30 m/s dans la roue), variations très brutales de pression.

De nombreuses expérimentations ayant fait l'objet de plusieurs synthèses [6 ; 79 ; 80 ; 32 ; 60] ont été menées dans divers pays (USA, Canada, Suède, Ecosse, Allemagne, France), principalement sur les juvéniles de salmonidés, et plus rarement sur les clupéidés et les anguilles, pour déterminer les mortalités résultant du transit dans les principaux types de turbines.

Les mortalités sont totales dans les turbines du type Pelton mais fort heureusement ces turbines, réservées aux très hautes chutes, ne sont pas implantées sur les cours d'eau à migrateurs.

Les mortalités des juvéniles de salmonidés dans les turbines Francis et Kaplan sont très variables en fonction des caractéristiques de la roue (diamètre, vitesse de rotation...), de leur régime de fonctionnement, de la hauteur de chute ainsi que de l'espèce et de la taille du poisson concerné. Elles varient de moins de 5% à plus de 90% dans les turbines Francis. Elles sont en moyenne plus faibles dans les turbines Kaplan, de 5% à 20% environ. Les mortalités peuvent s'avérer plus importantes pour certaines espèces, en particulier les espèces physoclistes, plus sensibles aux variations de pression et l'anguille, à cause de sa taille. Les juvéniles d'aloise apparaissent jusqu'à présent beaucoup plus sensibles que les salmonidés (mortalités de 65% à 85% dans les turbines où la mortalité des juvéniles de salmonidés est de l'ordre de 10% à 15%) [112]. Des expérimentations récentes faisant appel à de nouvelles techniques [102] laissent à penser que ces mortalités seraient en réalité du même ordre de grandeur que celles observées sur des salmonidés.

Elles auraient été surestimées du fait des protocoles d'étude et des dispositifs de récupération utilisés jusqu'alors.

Diverses équations prédictives de la mortalité ont été proposées, avec plus ou moins de succès. Une étude récente réalisée en France [60] a permis d'obtenir des formules prédictives de mortalités sur les juvéniles de salmonidés et les anguilles dans les turbines Francis et Kaplan à partir des principales caractéristiques de la turbine et de la taille des poissons.

Dans le cas des turbines Francis, l'équation de régression expliquant le mieux la mortalité pour les juvéniles de salmonidés est la suivante :

$$P = \left\{ \sin \left( 4.21 + 1.25 V_1^{0.821} + 2.28 N^{0.19} \left( \frac{TL}{esp} \right)^{0.84} W_1^{0.71} \right) \right\}^2$$

(R = 0.59)

où

P est la part de mortalité (comprise entre 0 et 1),

$V_1$  (m/s) et  $W_1$  (m/s) les vitesses absolue et relative à l'entrée de la roue,

N (trs/mn) la vitesse de rotation de la roue,

TL (m) la longueur du poisson et esp (m) l'espacement inter-aubes calculé à mi-aube en entrée de roue.

Pour les turbines Kaplan, les facteurs influant sur la mortalité sont moins évidents. Seuls interviennent de manière significative la longueur d'un poisson TL (m) et l'espacement inter-pales calculé à mi-pale esp (m) :

Pour les juvéniles de salmonidés :

$$P = \left\{ \sin \left( 13.4 + 42.8 \left( \frac{TL}{esp} \right) \right) \right\}^2$$

(R = 0.59)

Pour les anguilles :

$$P = \left\{ \sin \left( 28.6 + 48.7 \left( \frac{TL}{esp} \right) \right) \right\}^2$$

(R = 0.85)

## 2.4 Entraînement dans les prises d'eau industrielles ou agricoles

Du fait de leur comportement migratoire, les incitant à suivre le courant, les migrateurs en avalaison, sont susceptibles de se laisser entraîner dans tous les types de prises d'eau : centrales thermiques, usines, canaux d'irrigation... Les risques d'entraînement sont éminemment fonction des débits relatifs des pompages et des cours d'eau. Les dommages sont spécifiques à chacune des installations et doivent être examinés cas par cas. ■

# 3 AMENAGEMENTS POUR LA DEVALAISON

## 3.1 Possibilités de passage dans les turbines et/ou les déversoirs

Au niveau d'une installation hydroélectrique, si les mortalités potentielles lors du transit par les déversoirs ou les turbines sont faibles, il peut s'avérer inutile de prévoir des dispositifs spéciaux pour la dévalaison. Ce choix a été fait sur plusieurs centrales en Écosse et en Irlande, où le blocage prolongé des juvéniles au niveau des grilles des prises d'eau, dans l'attente de trouver l'entrée des exutoires leur permettant de passer à l'aval, s'est traduit par des mortalités par prédation (brochets, truites) bien supérieures à celles subies lors du transit par les turbines. Des résultats récents [102] indiquent par ailleurs que les mortalités dans certains exutoires de dévalaison peuvent être du même ordre de grandeur, voire supérieures à celles résultant du transit dans les turbines.



Grilles fines sur une prise d'eau en Ecosse

Par ailleurs, sur les ouvrages d'une certaine taille, non équipés lors de leur construction de dispositifs de dévalaison, il est souvent très difficile, voire techniquement impossible, de détourner les poissons des déversoirs de crue ou des turbines. Lorsqu'il existe plusieurs déversoirs et/ou turbines de caractéristiques différentes, on favorisera dans la mesure du possible en période de dévalaison l'utilisation de celui/celle ou ceux présentant le moins de risques potentiels.

## 3.2 Barrières physiques

Une première solution pour empêcher le transit des poissons dans les turbines consiste à les arrêter au droit des prises d'eau, canaux d'amenée ou déversoirs par des grilles de porosité inférieure à leur taille.

L'installation de ces grilles au droit des prises d'eau classiques ou des canaux de dérivation requiert deux impératifs :

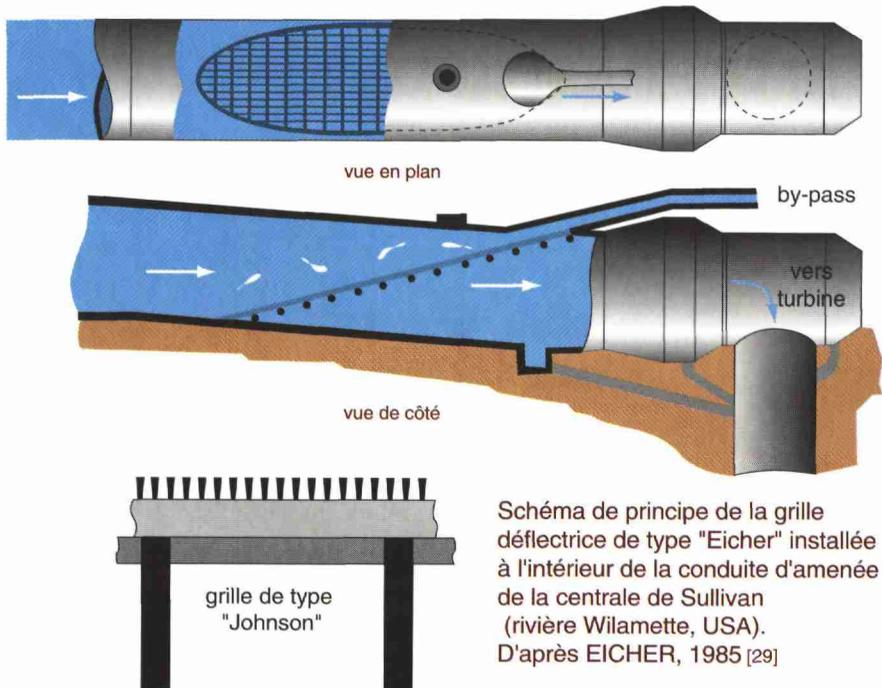
- présence d'exutoires à proximité,
- vitesses d'écoulement devant ces grilles suffisamment faibles pour permettre aux poissons de nager pendant le temps nécessaire à la découverte de ces exutoires (faute de quoi les mortalités par placage contre les grilles peuvent devenir supérieures à celles subies lors du transit dans les turbines).

En règle générale, les grilles utilisées en Amérique du Nord et en Ecosse sont à mailles carrées ou rectangulaires variant d'environ 5 mm à 25 mm suivant la taille des poissons à exclure, la vitesse d'écoulement au droit du plan de grille devant rester inférieure à 30 cm/s pour les smolts et à 15 cm/s pour les alevins [17 ; 1].

Divers types de grilles ont été utilisées :

- panneaux de grilles fines installés temporairement sur les grilles de prises d'eau [1]. L'installation de ces grilles impose de très lourdes contraintes, tant de dimensionnement des prises d'eau (de façon à respecter les critères sur les vitesses) que d'entretien (nécessité de démontage des grilles par panneaux pour en effectuer le nettoyage). Ces grilles fines sont, la plupart du temps, impossibles à installer sur les prises d'eau existantes sur lesquelles les vitesses d'approche sont trop importantes,
- grilles rotatives autonettoyantes (utilisées dans les canaux d'irrigation aux USA) [81 ; 86]. Ces grilles constituent une solution très efficace pour le détournement des poissons dans des canaux de faible profondeur ( $\leq 2$  m). Leur coût reste cependant très élevé,
- grilles défectrices installées à l'intérieur même des prises d'eau des turbines [122] destinées à détourner les poissons vers les puits à batardeaux à partir desquels ils peuvent accéder à un dispositif de dévalaison (rivière Columbia et affluents aux USA). Ces grilles restent réservées aux très grosses installations. Leur prix est élevé : plusieurs millions de francs par turbine,

- grilles "écrémeuses" ou grilles "Eicher" [29] installées dans les galeries d'amenée d'eau vers les turbines dont le principe est de déflécter les poissons vers un by-pass à l'aide d'un écran incliné (Fig. 13.1). Cet écran est constitué d'une grille "Johnson" à barreaux de section triangulaire de 2 mm espacés de 2 mm. La vitesse débitante dans la conduite est d'environ 1.5 m/s. Les vitesses normales au plan de grille et au droit du by-pass sont respectivement de 0.45 m/s et 1.5 m/s. L'avantage principal de ce type de grille est de pouvoir fonctionner à des vitesses élevées (1.5 m/s à 2.4 m/s). Elle s'est révélée par ailleurs pratiquement autonettoyante.



Les grilles "Eicher", compte tenu de leur efficacité sur des installations récentes et de leur possibilité de fonctionnement à vitesses élevées, semblent être les barrières physiques les plus prometteuses dans l'avenir immédiat [102].

### 3.3 Barrières comportementales

Il s'agit de dispositifs induisant le déplacement des poissons dans une direction donnée grâce à divers stimuli agissant sur leur comportement (attraction, répulsion, guidage). Ces barrières sont "attractantes" pour les concepteurs et exploitants car, au contraire des précédentes, elles ne présentent que de faibles contraintes de protection contre le colmatage et de nettoyage.

Les stimuli visuels, auditifs, hydrodynamiques, électriques ont donné lieu à un grand nombre de barrières expérimentales : écran à bulles, écran sonore, écran à chaînes fixes et mobiles, écran lumineux attractif ou répulsif, écran électrique, écran hydrodynamique ("louvers" ou écran à persiennes).

Des résultats ponctuels ont été obtenus sur un certain nombre d'écrans (écran visuel à chaînes, écran lumineux, écran sonore...) mais ils n'ont pas donné, en général, d'applications grandeur réelle en raison de leur spécificité (efficacité fonction de l'espèce et de la taille), de leur faible fiabilité et de leur sensibilité aux conditions de milieu (turbidité de l'eau). Des tests sont encore en cours sur l'effet répulsif des sons ("poppers") mais, dans l'ensemble, les résultats ne sont pas concluants [31 ; 14].

Les effets répulsifs (flashes stroboscopiques) ou attractifs (lampes à vapeur de mercure) de la lumière ne sont pas toujours très évidents, mais les expérimentations doivent être poursuivies car la lumière semble être un paramètre susceptible de renforcer les effets d'autres dispositifs.

Des résultats encourageants ont été obtenus récemment sur l'efficacité d'écrans lumineux répulsifs vis-à-vis de l'anguille adulte en avalaison [38]. Ces écrans, constitués d'ampoules immergées, utilisent le comportement lucifuge de l'anguille pour les détourner vers les zones d'ombre.

Seul l'écran hydrodynamique (Fig. 13.2) a été utilisé avec succès sur plusieurs installations, notamment aux USA dans les canaux d'irrigation (avec des débits allant jusqu'à 140 m<sup>3</sup>/s) et à titre expérimental au niveau de prises d'eau de petites centrales hydroélectriques. Pour rester efficace, cet écran requiert cependant le respect d'un certain nombre de critères très précis :

- l'angle de l'écran par rapport à l'écoulement doit être compris entre  $10^\circ$  et  $15^\circ$ ,
- l'écartement des lames varie de moins de 5 cm à 15 cm suivant la taille du poisson,
- les vitesses d'écoulement à l'approche de l'écran doivent demeurer uniformes et constantes et être comprises entre 0.4 m/s pour les alevins et 1.5 m/s pour les smolts,
- la vitesse dans le by-pass doit être supérieure ou égale à 1.4 fois la vitesse d'écoulement à l'approche de l'écran.

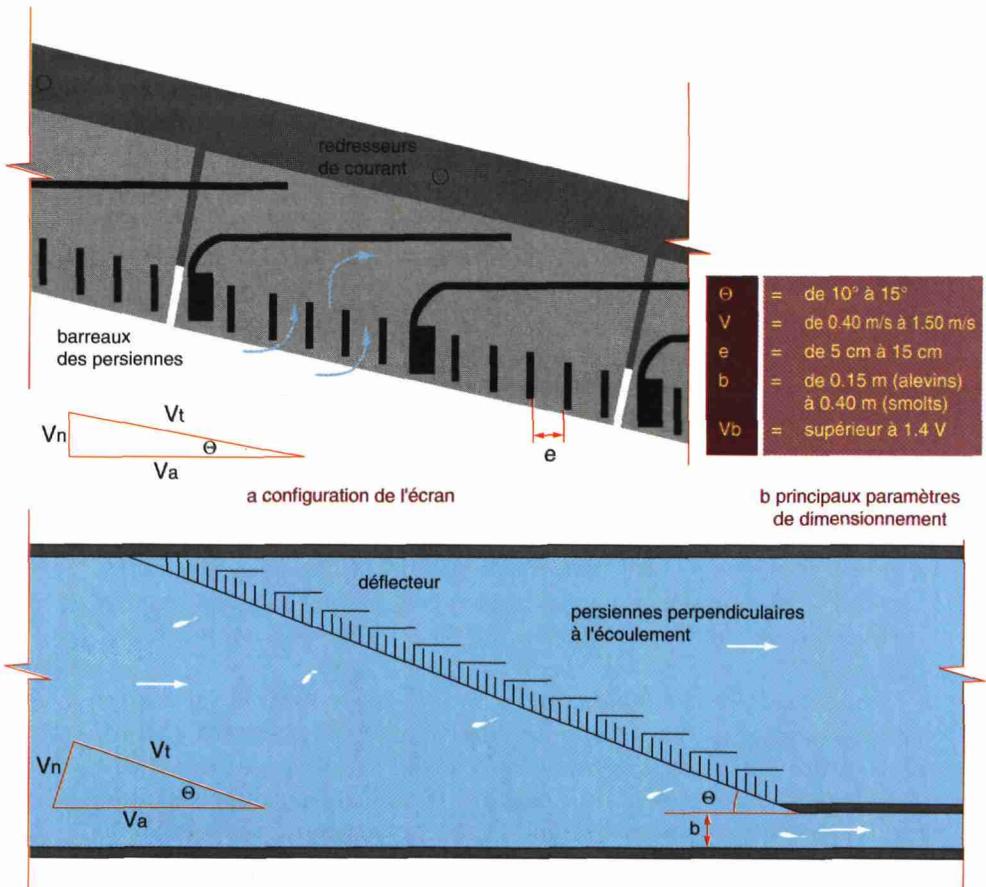
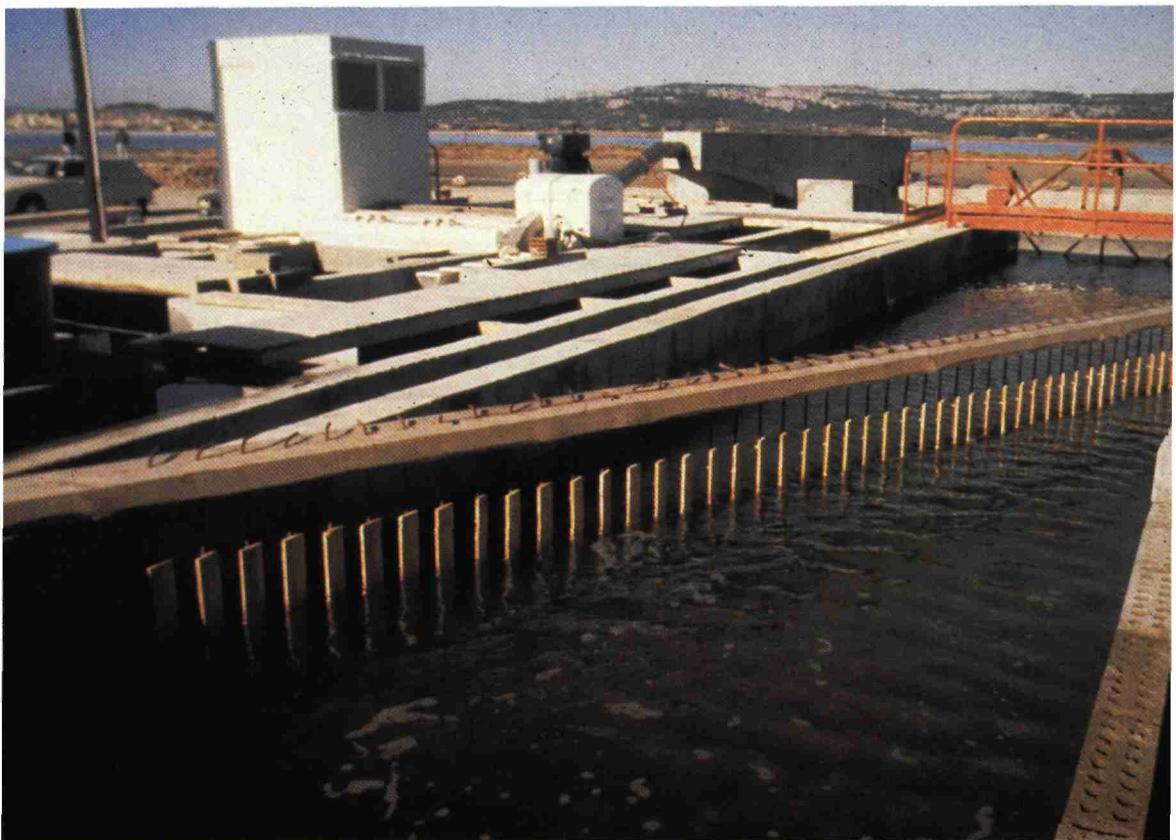


fig. 13.2

Principaux critères de conception d'un écran hydrodynamique à persiennes ("louver").  
D'après RUGGLES et RYAN, 1964 [103 bis] ;  
BATES, 1960 [3 bis]

Ce dispositif est par ailleurs très sensible au colmatage et nécessite des dispositifs de protection et de nettoyage. Aux USA, il est actuellement remplacé progressivement par les grilles rotatives inclinées [81].

Des essais récents [102] ont été conduits pour adapter ces écrans aux canaux d'amenée de centrales hydroélectriques à profondeur importante. Au barrage de Holyoke sur la rivière Connecticut (USA), un écran à persiennes flottant d'une longueur de 157 m a permis de déflécter près de 90% des juvéniles de salmonidés. L'utilisation de ces écrans pourrait donc présenter de nouvelles perspectives intéressantes.



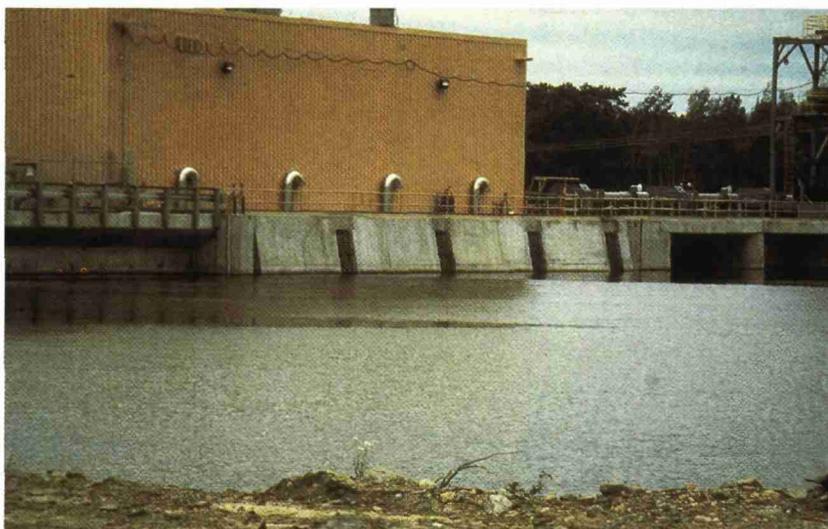
Ecran hydrodynamique expérimental (Gruissan, France)

### 3.4 Exutoires de dévalaison (by-pass)

Lorsque l'on veut éviter l'entraînement des poissons dans une prise d'eau, quel que soit le dispositif utilisé, il est nécessaire de disposer d'un ou plusieurs exutoires permettant aux poissons de contourner l'obstacle et de regagner sans dommage leur milieu d'origine (le canal de fuite ou l'aval du barrage dans le cas d'une installation hydroélectrique). Ces exutoires peuvent être associés à des barrières physiques ou comportementales, ou plus simplement utilisés seuls, à condition que leur implantation et conception soient telles que le poisson y soit attiré naturellement.

Il paraît peu réaliste d'envisager en France l'installation systématique de grilles fines telles que celles utilisées en Ecosse ou aux USA qui obligeraient à redimensionner la plupart des prises d'eau. C'est pourquoi on s'est orienté vers l'utilisation d'exutoires de surface, en mettant à profit la répulsion naturelle qu'éprouvent les poissons à franchir les grilles conventionnelles de protection des turbines.

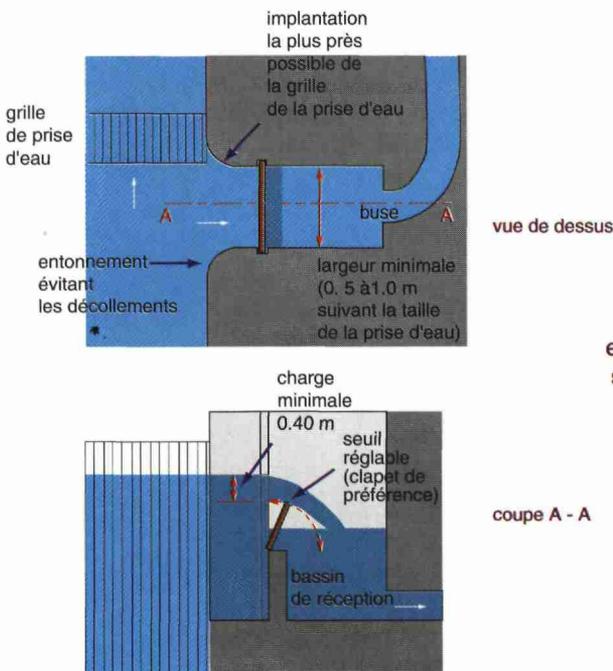
Des expérimentations ont été entreprises dans le but de quantifier l'efficacité de tels exutoires et d'en optimiser l'implantation et le dimensionnement ainsi qu'à en augmenter l'attractivité en utilisant la lumière, dans la mesure où une grande partie de la migration se déroule de nuit [12 ; 58 ; 59].



Exutoires de dévalaison situés au-dessus de la prise d'eau des turbines à la centrale de West-Enfield (Maine, USA)

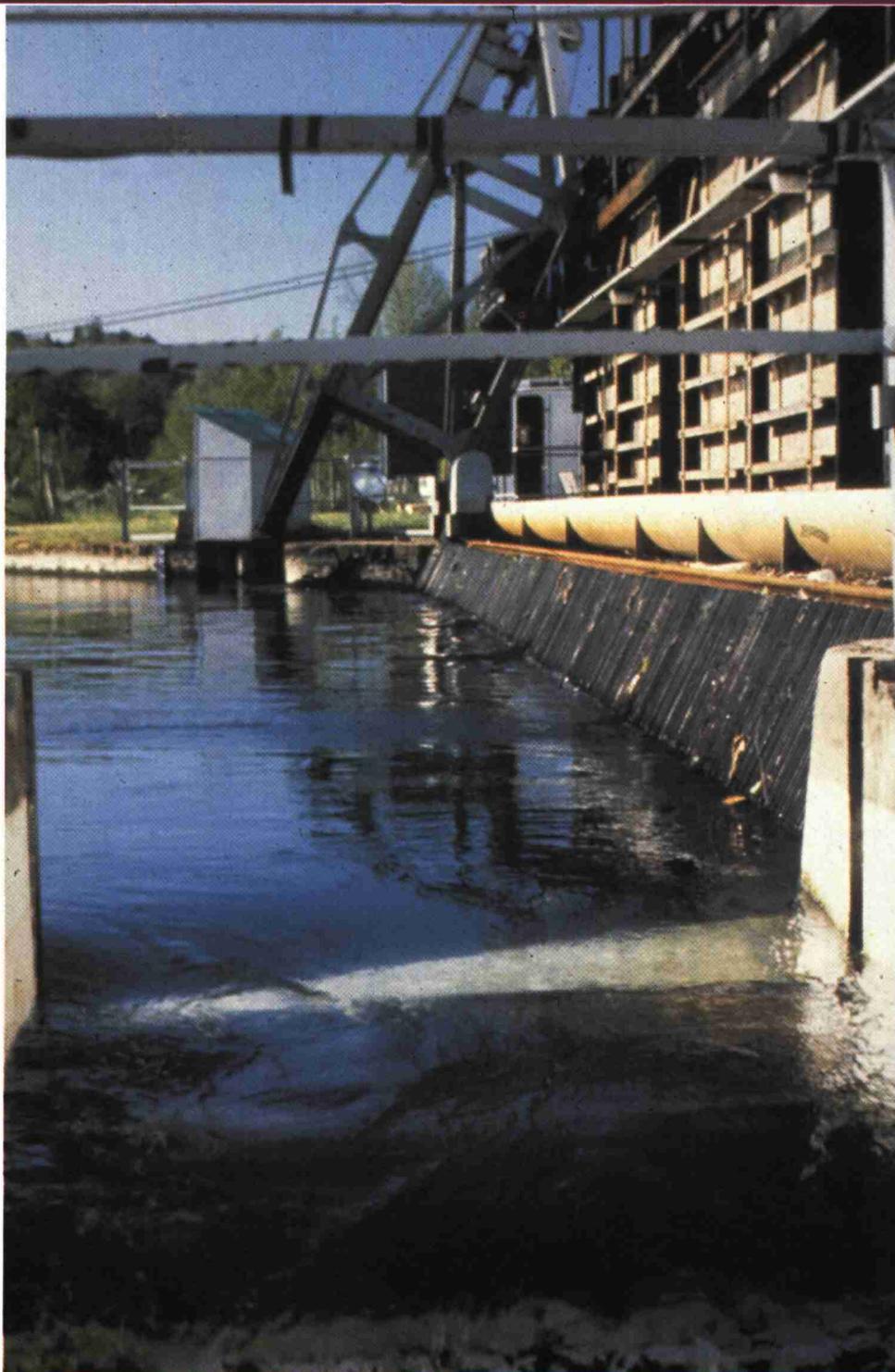
Les principales caractéristiques à donner pour un exutoire, telles qu'elles peuvent ressortir de ces premières expérimentations sont les suivantes (Fig. 13.3) :

- l'écoulement doit se faire en surface par des pertuis d'une largeur minimale de 0.5 m à 1 m (suivant la largeur de la prise d'eau)
- une lame d'eau minimale d'une quarantaine de centimètres y est nécessaire, ce qui correspond à un débit minimal de l'ordre de  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  par mètre de largeur. En règle générale, un dispositif de réglage (clapet de préférence) est nécessaire pour s'affranchir des variations de niveau du plan d'eau,
- l'accélération dans l'exutoire doit être progressive, l'écoulement devant présenter un minimum de décollements et de zones de turbulences (installation éventuelle d'entonnements),
- le débit transitant par les exutoires doit être à l'échelle du débit turbiné. Un minimum de 2% à 5% est à prévoir,
- ces exutoires doivent être implantés le plus près possible du plan des grilles (latéralement ou au-dessus du plan de grilles) ou plus généralement de la zone de rassemblement des poissons,

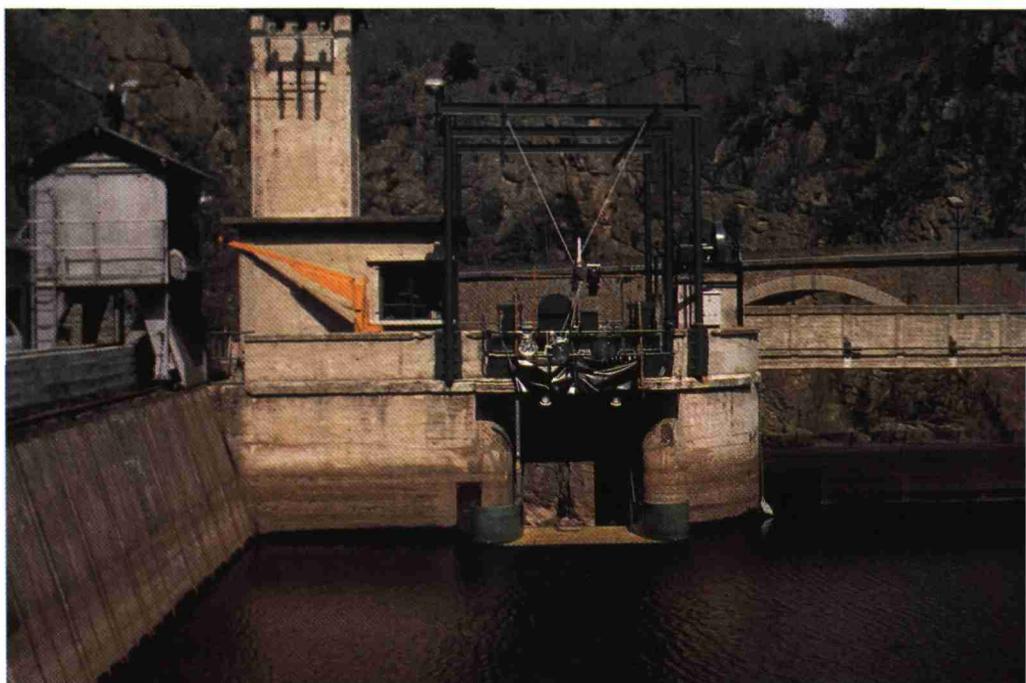


Principales caractéristiques d'un exutoire de dévalaison de surface situé au droit des prises d'eau d'usine hydroélectriques

fig. 13.3



Exutoire de dévalaison à la centrale d'Halsou sur la Nive



Exutoire de dévalaison à la prise d'eau de Poutès sur l'Allier

Le transit vers l'aval se fait au moyen de buses ou canalets dans lesquels on doit éviter toute source de chocs, une rugosité excessive, des coudes à angle trop vifs, etc. La vitesse ne doit pas y excéder une douzaine de m/s et il est préférable que cet ouvrage débouche à l'horizontale au-dessus du niveau d'eau aval (chute maximale de 1 à 3 m).

Le colmatage par les corps dérivants est le principal problème rencontré lors du fonctionnement de ces exutoires dans la mesure où les zones de rassemblement des poissons - et par conséquent la position des exutoires - correspondent aux zones d'accumulation des débris. Pour s'en affranchir, on peut soit dimensionner les buses et canalets de façon à permettre le passage à l'aval des corps dérivants, soit installer à l'amont immédiat de l'exutoire des grilles à barreaux à fort écartement (minimum 20 cm) de façon à ne pas perturber le comportement des poissons.

Lorsque cela est possible, on aura intérêt à installer ce système de protection à l'aval d'un bassin tampon intercalé entre l'exutoire et la buse (ou le canalet) de restitution (Fig. 13.3).

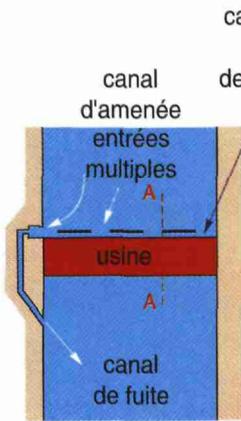
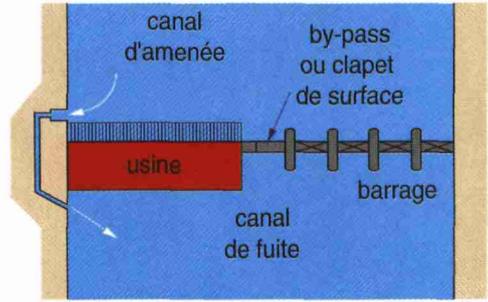
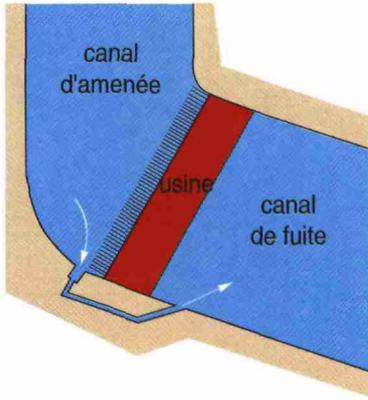
Dès que la largeur de la prise d'eau dépasse une dizaine de mètres, il devient préférable d'installer plusieurs exutoires.

Le principe d'implantation de ces exutoires au niveau des prises d'eau a été schématisé sur la figure 13.4. Outre la configuration générale de la prise d'eau, il est nécessaire de tenir compte de l'hydrodynamique du site (nature de l'écoulement, courants transversaux au droit des grilles susceptibles de guider les poissons vers une zone particulière).

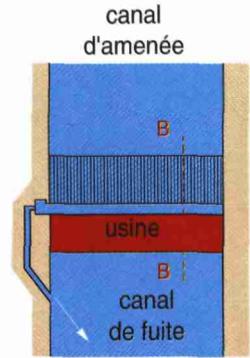
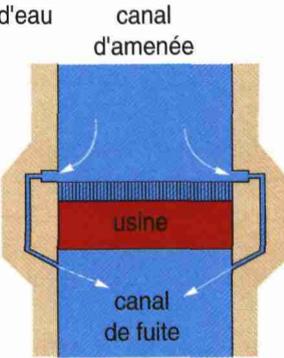
L'augmentation de l'attractivité de ces exutoires par la lumière, compte tenu du fait que la majeure partie de la dévalaison se déroule durant la nuit, offre d'intéressantes perspectives comme en témoignent les premiers résultats obtenus [58 ; 59]. Il apparaît cependant que l'efficacité est fortement dépendante des conditions d'éclairage (localisation, puissance, rythme d'allumage et d'extinction...). De plus amples expérimentations s'avèrent néanmoins nécessaires pour les définir précisément.

Les premiers résultats obtenus lors de contrôles d'exutoires réalisés récemment sur la côte Est des USA indiquent des efficacités de l'ordre de 15% [104]. En France, les efficacités obtenues sur deux sites vont de 85% dans le cas d'un exutoire dont l'implantation était très favorable (usine d'Halsou [58]) à environ 20% (usine de Soeix) pour un exutoire situé à 6 m en amont des grilles de prise d'eau.

L'efficacité de ces dispositifs se révèle très sensible à leur implantation et aux conditions hydrodynamiques avoisinantes. Il semble urgent de mettre en œuvre des programmes expérimentaux beaucoup plus conséquents que ceux existants à l'heure actuelle pour affiner les critères de conception et préciser les limites de ces dispositifs. ■



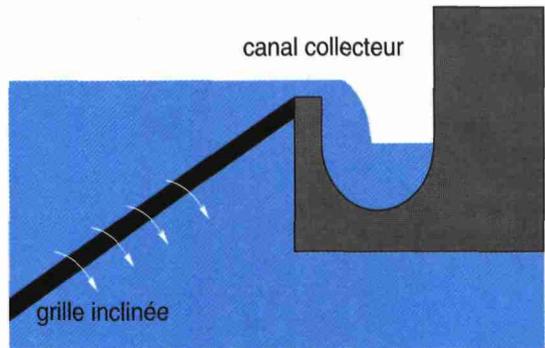
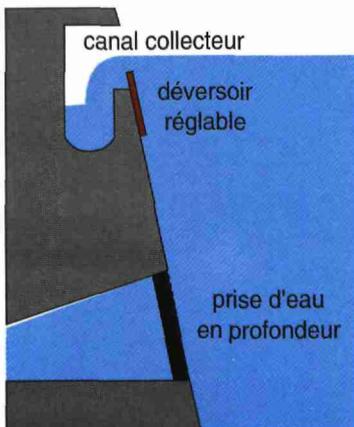
canal collecteur  
au dessus  
de la prise d'eau



vue en plan

vue en plan

coupe A - A



coupe B - B

Situation des exutoires de dévalaison suivant la configuration de l'aménagement hydroélectrique

fig. 13.4

# BARRIERES D'ARRET ET DE GUIDAGE POUR LA MIGRATION DE MONTAISON

## 1 PRINCIPE

Il existe des situations dans lesquelles il peut être intéressant, voire indispensable, d'empêcher la progression des poissons vers certaines zones et de les guider vers des portions de cours d'eau plus favorables à la poursuite de leur migration, vers l'entrée de passes à poissons, ou vers des dispositifs de capture. Le besoin le plus fréquemment rencontré est d'empêcher l'entrée des migrateurs dans les canaux de fuite d'usines hydroélectriques, en général attractifs du fait des débits importants qui y transitent, et dans lesquels il peut être soit impossible, soit coûteux d'installer un ouvrage de franchissement. On citera également le cas des obstacles de grande largeur à l'aval desquels le cours d'eau présente des bras multiples avec impossibilité d'équiper chacun de ces bras d'un ouvrage de franchissement. Enfin, il peut être nécessaire de guider les migrateurs vers des stations de piégeage afin de les dénombrer ou de les transporter à l'amont d'un obstacle (ou d'une série d'obstacles) sur lequel l'installation d'un ouvrage de franchissement n'est pas possible.

Deux grandes catégories de barrières à poissons sont à distinguer, les barrières physiques qui se présentent comme un obstacle infranchissable par nage ou par saut, et les barrières comportementales qui génèrent un stimulus répulsif pour le poisson. Le seul type de barrière comportementale ayant donné lieu, à ce jour, à des applications grandeur nature est l'écran électrique.

Ces barrières sont toujours associées à un exutoire naturel (bras de rivière...) ou artificiel (canal de dérivation, entrée d'une passe à poisson ou d'un piège...) qui devra être, par sa situation ou par le débit qui y transite, le plus attractif possible pour le poisson. ■

## 2 BARRIERES PHYSIQUES

### 2.1 Grilles

La technique la plus simple consiste à barrer la totalité de la zone à protéger par des grilles de porosité inférieure à la taille des poissons. On utilise en général des grilles à barreaux verticaux dont le nettoyage est plus facile que celui des grilles à maille carrée ou rectangulaire. L'espacement (vide entre barreaux) est fonction de la taille des poissons concernés : aux Etats-Unis [17 ; 7], on utilise en général, pour les salmonidés migrateurs un écartement (vide entre barreaux) de 2,5 cm. En Ecosse [1], il est de 4 cm pour le saumon et de 3 cm à 3,8 cm pour la truite de mer. En France, on peut préconiser des écartements similaires à ceux utilisés pour les grilles d'injection de débit d'appoint dans les passes à poissons ou pour les grilles de pièges ou de cages d'ascenseurs (cf. chap. 7), c'est à dire 2,5 cm à 4 cm pour les grands salmonidés migrateurs et 2 cm à 2,5 cm pour la truite.

Le principal inconvénient d'une telle barrière réside dans sa sensibilité au colmatage qui se traduit par des contraintes de maintenance et des risques d'endommagement de la barrière lors des crues.

En général la barrière se compose de panneaux inclinés par rapport à la verticale de façon à en faciliter le nettoyage. Si l'on veut améliorer la fonction de guidage de la barrière elle devra être disposée obliquement par rapport au courant.



Vue de l'aval du barrage de guidage en grilles mobiles, à la station de contrôle de migrations de Kerhamon

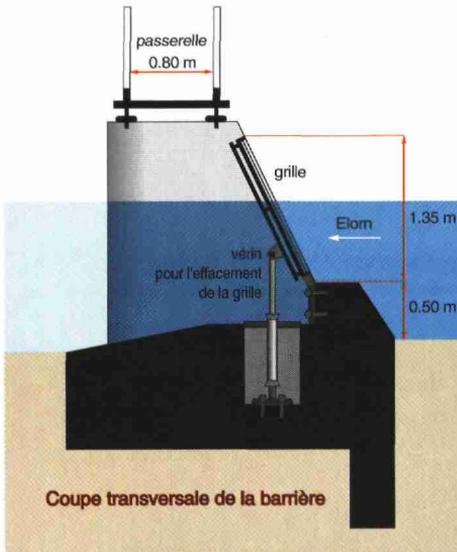
Un exemple de barrière utilisée récemment en France pour orienter les poissons vers une station de capture (station de contrôle des migrateurs de Kerhamon sur l'Elorn) [18 bis] est détaillé sur la figure 14.1. Les panneaux de grilles composés de barreaux verticaux de 4 cm d'espacement, sont escamotables et manoeuvrés automatiquement par des vérins hydrauliques ; l'auto-nettoyage et l'effacement de la barrière lors des crues sont ainsi assurés. Des problèmes importants de maintenance ont cependant été rencontrés sur les vérins immergés. Il est donc conseillé dans un tel cas de figure d'utiliser des vérins émergés accessibles en permanence.

En Ecosse [1], de telles grilles étaient systématiquement disposées à l'aval des turbines, de façon à éviter les remontées de poissons jusqu'à la roue lors des périodes de fonctionnement à faible débit. Du fait des problèmes d'entretien rencontrés, ces grilles sont actuellement supprimées dans la plupart des cas et remplacées par une contrainte de débit minimal turbiné qui assure dans les aspirateurs une vitesse supérieure à la capacité de nage des poissons.

Si de telles grilles s'avèrent malgré tout nécessaires sur certains sites, on veillera à ce qu'elles soient bien "étanches" aux poissons : porosité adaptée à la taille des poissons concernés, absence de zones ponctuelles de passage... En effet, les poissons éprouvant plus de difficulté à trouver un passage lorsqu'ils descendent le courant que lorsqu'ils le remontent, risquent, s'ils réussissent à franchir ces grilles à la montée, de se

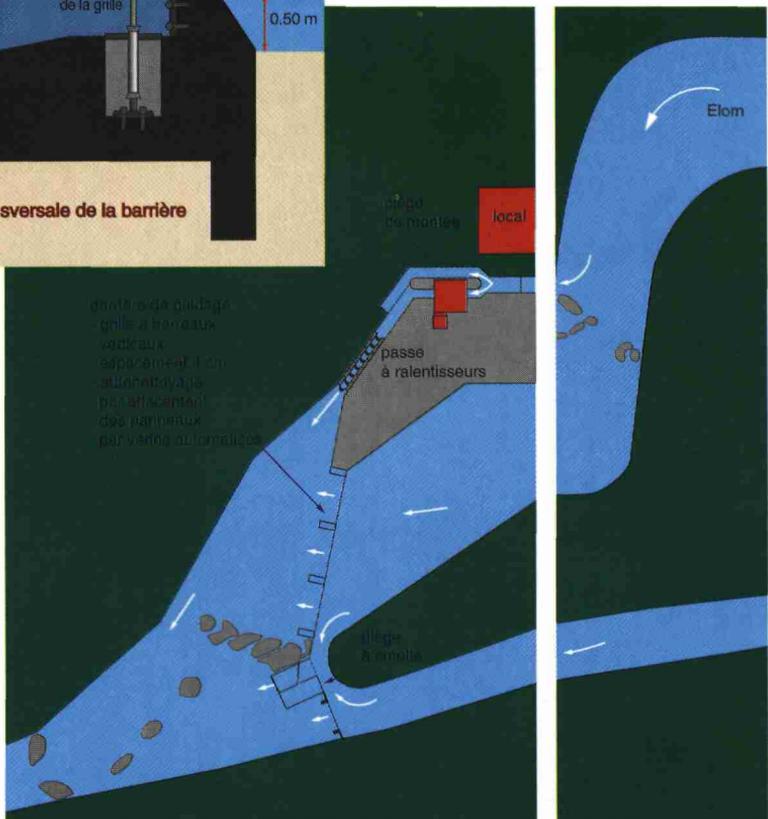
retrouver piégés à l'amont des grilles et plaqués sur celles-ci si les vitesses de courant sont importantes. Des mortalités de saumon ont été observées à plusieurs reprises en France sur une centrale hydroélectrique équipée de telles grilles.

On tiendra compte également des risques de mortalité, par choc contre ces grilles, de poissons en dévalaison ayant transité sans dommage par les turbines. A cet effet leur porosité devra être adaptée au passage des poissons dévalants et elles seront implantées dans des zones à vitesse suffisamment faible ( $V \leq 0,50$  m/s)



**Exemple d'utilisation d'une barrière de guidage (type grille) pour orienter les migrateurs vers une station de piégeage : station de contrôle des migrateurs de Kerhamon sur l'Elom (France)**

fig. 14.1

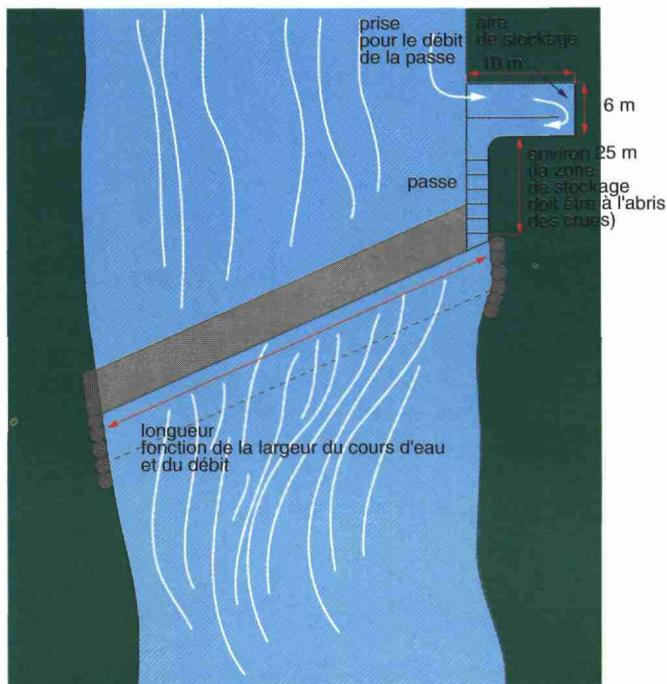


## 2.2 Seuils

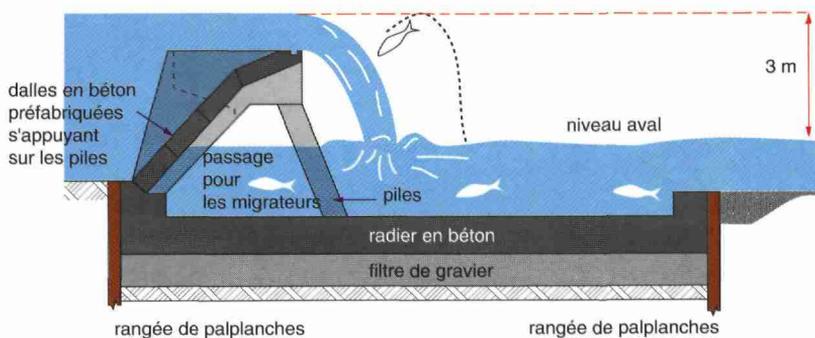
Pour s'affranchir des problèmes de maintenance posés par les barrières en grille, il est possible d'utiliser un seuil déversant infranchissable par saut ou nage. Cet obstacle est rendu infranchissable par sa hauteur de chute supérieure à la capacité de saut des espèces concernées et par la faible profondeur d'eau à son pied. Celle-ci est destinée à limiter les capacités de saut des poissons et à empêcher leur stationnement compte tenu des fortes vitesses et turbulences qui règnent dans cette zone. Les caractéristiques de barrières à grands salmonidés en fonctionnement aux USA et en Ecosse [17 ; 1 ; 7] sont rapportées sur la figure 14.2. On notera qu'il s'agit d'ouvrages conséquents créant une chute de l'ordre de 2 à 3 mètres.

Ce type de barrière, coûteux est surtout utilisable pour orienter les poissons vers une station de piégeage implantée en général à l'aval d'un obstacle où l'installation d'une passe est impossible. Pour favoriser le guidage des poissons vers l'entrée de la passe ou de l'installation de capture, le seuil est positionné en oblique par rapport à l'écoulement. Plusieurs installations de ce type fonctionnent sur la côte ouest des Etats-Unis.

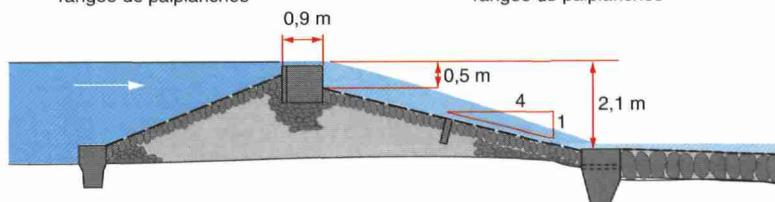
Cette barrière est peu utilisable à l'entrée des canaux de fuite d'usines hydroélectriques du fait de la surélévation du niveau qu'elle provoque (diminution de la hauteur de chute turbinable). ■



Principe d'un barrage à migrateurs utilisé aux Etats-Unis. D'après BELL, 1986 [7]



Section d'un barrage à migrateurs utilisé aux Etats-Unis. D'après BELL, 1986 [7]



Section d'un barrage à migrateurs utilisé en Ecosse (rivière Garry). D'après AITKEN et al, 1966 [1]

fig. 14.2

# 3 ECRANS ELECTRIQUES

## 3.1 Principe

Un écran électrique est un dispositif qui crée, dans l'eau, un champ électrique répulsif voire tétanisant pour le poisson. Il peut être défini comme un arrangement d'électrodes plongées dans l'eau et alimentées par un générateur électrique. Le champ électrique généré est hétérogène, intense près des électrodes et de plus en plus faible à mesure que l'on s'en éloigne [110 bis]. Le principal avantage, par rapport à une grille non électrifiée, réside dans l'éloignement relativement important des électrodes (espacement pouvant varier de 0,30 m à 4 m, dans le cas de barreaux cylindriques verticaux par exemple) qui en rend l'exploitation beaucoup moins contraignante que celle d'une grille classique.

### ■ Réaction du poisson au courant électrique

Le poisson soumis à un champ électrique suffisamment intense (quelques mètres autour des électrodes) manifeste des réactions diverses qui dépendent essentiellement de l'intensité de ce champ mais également de son orientation par rapport aux électrodes, du type de courant électrique, de la température de l'eau et de l'espèce. Suivant les conditions, les principaux effets du courant peuvent être inhibiteurs, attractifs, répulsifs ou tétanisants [53 bis].

Les réactions provoquées par le champ électrique peuvent induire trois types principaux de comportement :

- le poisson est seulement effrayé par un stimulus électrique léger dans les zones à faible champ électrique : il conserve son pouvoir de nage et s'éloigne de l'écran ;
- le poisson est immobilisé (tétanie) s'il s'approche trop de l'écran. Cet effet n'est pas obligatoirement gênant pour un "écran de montée", puisque le courant d'eau l'entraîne aussitôt vers l'aval et le soustrait à un effet durable et dangereux du courant électrique ;
- le poisson infléchit sa direction de déplacement par réaction réflexe (électrotaxie).

## ■ Critères de choix

De très nombreux types de courant électrique d'alimentation (continu, alternatif, impulsions de toutes formes) et de configurations d'électrodes (verticales, horizontales, simple ou double rangée) ont été expérimentés ou adoptés en exploitation normale. Compte tenu des difficultés d'expérimentation, l'efficacité des différents modèles a été rarement mesurée en milieu naturel, ou du moins dans des conditions comparables. Il est donc pratiquement impossible d'attribuer aux divers types d'écrans une hiérarchie d'efficacité. Chaque réalisation devant être adaptée au site et à l'effet escompté, il est également difficile de donner aux utilisateurs un "standard" de construction et il est préférable qu'une étude précise soit conduite au "cas par cas".

La conception correcte d'un écran électrique passe par la nécessité de bien connaître la taille et le comportement du poisson que l'on veut détourner, ainsi que les stimuli auxquels il est sensible. Le champ électrique doit être déterminé en fonction des plus petits poissons à arrêter puisque, à distance égale de l'écran, les plus grands ressentiront un effet plus important. On doit considérer l'instinct migratoire de reproduction qui peut être plus fort que l'effarouchement dû au choc électrique : on cherchera donc à infléchir un déplacement plutôt qu'à l'arrêter. Il est également nécessaire que l'étendue du champ actif et la fréquence des impulsions soient telles que l'animal ne puisse traverser la zone interdite sur sa lancée, entre deux chocs électriques, d'où la nécessité de prendre en compte les vitesses de nage des espèces considérées.

## 3.2 Exemples de réalisations appliquées aux migrants

De nombreux types d'écrans électriques ont été expérimentés et utilisés. On peut les ranger, d'une façon très schématique et afin de clarifier les idées, dans trois catégories principales présentées dans l'ordre chronologique de leur développement : les écrans à deux rangées d'électrodes dont les modèles mis au point par McMILLAN aux États-Unis [38 ter] et LETHLEAN au Royaume Uni [66 bis] ont servi de base, les écrans à une seule rangée d'électrodes étudiés principalement par NUSEMBAUM et STRAKHOV [111 bis] en Union Soviétique et enfin les écrans à rangées ou électrodes de fond multiples développés plus récemment aux États-Unis.

## ■ Ecrans à double rangée d'électrodes

L'installation représentée à la figure 14.3 est adaptable à tous les cours d'eau de petites et moyennes dimensions si la profondeur est faible (inférieure à 1,5 m environ). Les barreaux verticaux sont tous reliés électriquement et connectés au pôle négatif du générateur, si l'alimentation est assurée par une tension polarisée. L'électrode de fond (tube de 10 cm de diamètre par ex.) connectée au pôle positif joue alors le rôle d'électrode indifférente ou de masse. Dans la plupart des cas les électrodes sont alimentées par du courant impulsionnel polarisé à faible fréquence (2 à 5 Hz) ; la tension crête varie entre 100 et 250 V en fonction de la conductivité et de l'écartement des barreaux. Dans certains cas particuliers on peut utiliser du courant alternatif à très basse tension (24 V par ex.).

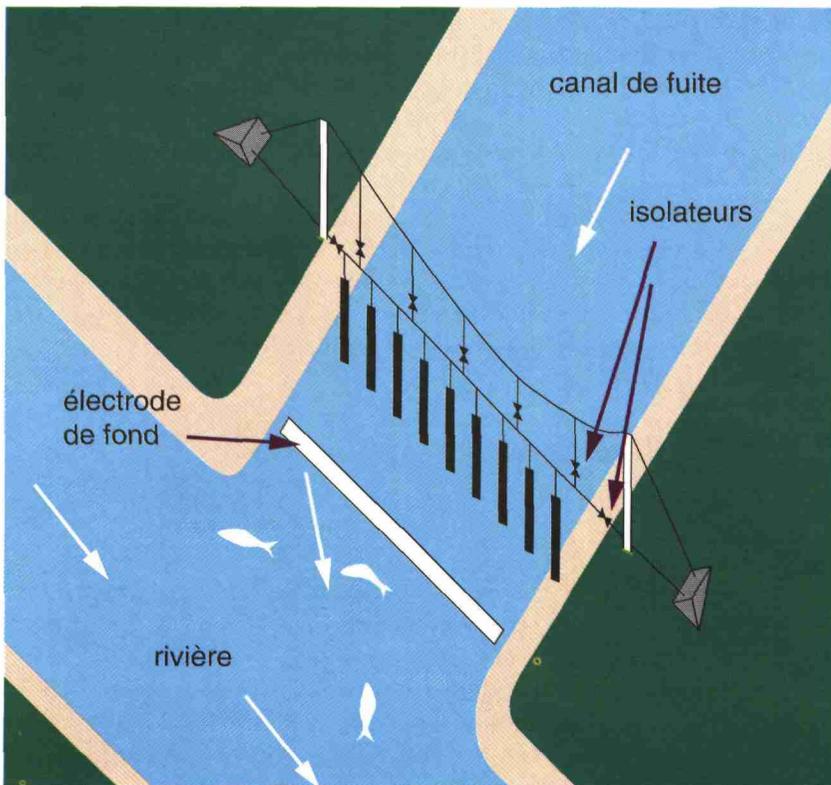


fig. 14.3

Schéma de principe d'un écran électrique de montée installé à la sortie du canal de fuite d'une centrale hydroélectrique

L'espacement des barreaux verticaux (4 à 8 cm de diamètre) varie entre 30 cm et 1 m et la distance entre les 2 rangées est choisie entre 1,5 m et 4 m selon la profondeur. La fixation peut être assurée à l'aide d'un câble, ce qui permet aux barreaux de se soulever lors du passage d'objets dérivants importants (branches ou troncs d'arbres), mais également à partir d'une passerelle, d'un pont ou d'une armature fixe quelconque.

Si la profondeur est plus importante il est nécessaire, pour obtenir une distribution plus homogène du champ électrique, de remplacer l'électrode de fond par une deuxième rangée de barreaux verticaux installée parallèlement à la première.



Ecran électrique de remontée installé à la sortie d'un canal de fuite d'une microcentrale à Auterive - Gave d'Oloron (64).  
Le parapet d'un pont a servi de support aux électrodes.

La figure 14.4 schématise un type d'écran plus sophistiqué imaginé par Lethlean [66 bis]. Il comprend 2 rangées parallèles d'électrodes verticales éloignées de 2,50 m à 3 m ; la rangée aval est constituée de tubes de 30 cm de diamètre espacés de 2,20 m à 2,50 m, la rangée amont de tubes de 5 cm de diamètre distants de 30 cm environ. Le champ est induit par deux impulsions sinusoïdales polarisées, déphasées de  $120^\circ$  (source de puissance triphasée à 50 Hz), répétées à une fréquence de 10 Hz et envoyées successivement sur les lignes L<sub>1</sub> et L<sub>2</sub>. L'entrecroisement des équipotentielles qui en résulte empêche le poisson de trouver un chemin préférentiel à faible gradient. Ce type d'écran est bien adapté à la prévention de pénétration des migrateurs dans les canaux de fuite d'usines hydroélectriques de taille moyenne.

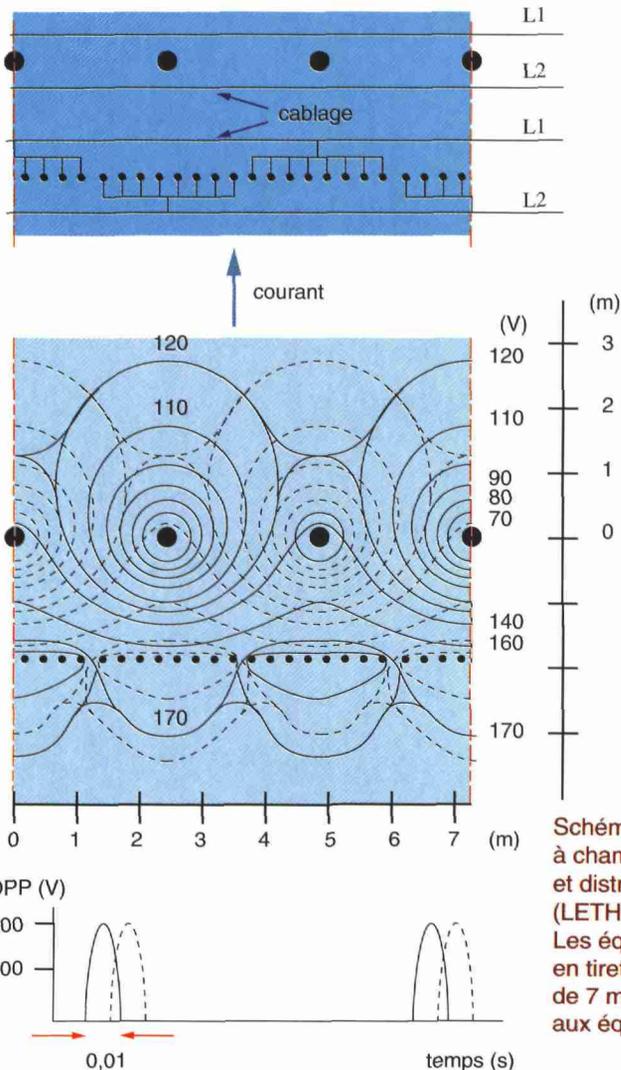


fig. 14.4

Schéma électrique d'un écran à champ électrique croisé et distribution des équipotentielles (LETHLEAN, 1953 [66 bis]). Les équipotentielles représentées en tirets sont induites avec un retard de 7 ms environ par rapport aux équipotentielles en trait continu.

## ■ Ecrans à simple rangée d'électrodes

L'écran de type ERZU-1 développé en Union Soviétique (Fig. 14.5) est plutôt destiné aux plans d'eau importants. Il est constitué d'une seule rangée d'électrodes verticales dont le diamètre et l'écartement varient fortement suivant la taille des poissons à détourner.

Pour une longueur du poisson de 4 cm, on aura :

$$\begin{aligned} d_1 &= 0,45 \text{ m,} \\ d_2 &= 0,60 \text{ m,} \\ \text{diamètre} &= 6 \text{ cm,} \\ U_0 &= 36 \text{ V ;} \end{aligned}$$

si la longueur est de 50 cm, ces dimensions deviennent :

$$\begin{aligned} d_1 &= 4 \text{ m,} \\ d_2 &= 6 \text{ m,} \\ \text{diamètre} &= 20 \text{ cm,} \\ U_0 &= 42 \text{ V.} \end{aligned}$$

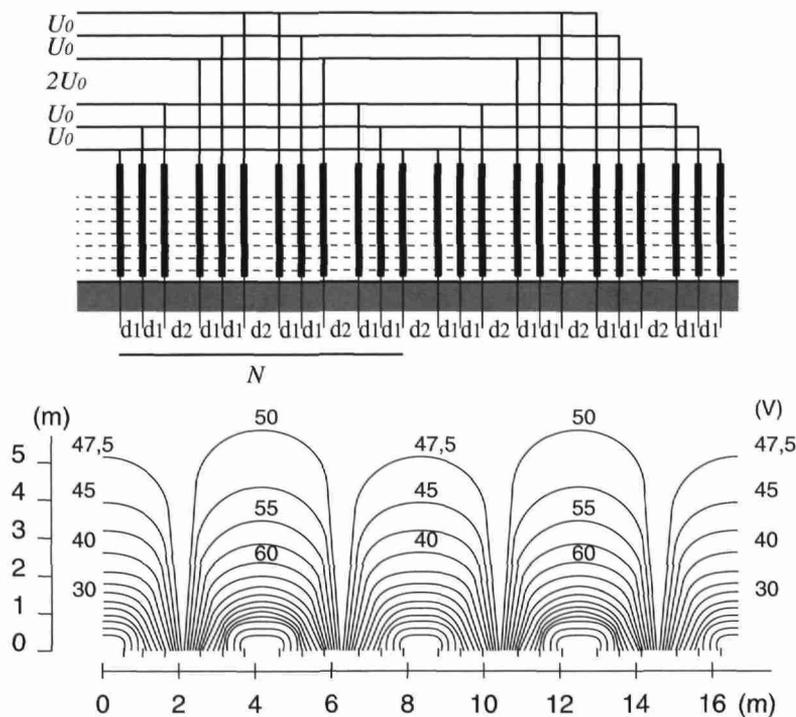


Schéma électrique d'un écran à simple rangée  
type ERZU - 1 (STRAKHOV, 1965 [111 bis])  
et distribution des équipotentielles

Le courant d'alimentation est du type "train d'impulsions" ou "salves" (durée = 20 à 40 ms, fréquence = 1 à 3 Hz en fonction des mêmes limites de taille de poisson). Le nombre des sections ( $N = 12$  électrodes dans ce cas) est calculé en fonction de la largeur du plan d'eau.

L'avantage présenté par cet écran est de générer un champ électrique non seulement très étendu de part et d'autre de la rangée, mais également très progressif (Fig. 14.5).

Un autre modèle d'écran à une rangée d'électrodes a été conçu par CHMIELEWSKI en Pologne [16 bis]. Alimenté à partir du courant triphasé du secteur au moyen d'un transformateur délivrant du courant polyphasé, il permet d'obtenir un champ électrique encore plus "étanche" que celui de l'écran soviétique. En effet, dans les cas précédents les équipotentielles ont une distribution spatiale, identique dans le temps : on dit que les champs sont stationnaires. Dans le cas présent, tout se passe comme si les lignes équipotentielles se déplaçaient à une vitesse donnée le long de la rangée d'électrodes : on peut alors qualifier le champ de mobile et les zones à faible gradient de potentiel sont pratiquement éliminées.

### ■ Ecrans à électrodes de fond multiples

Des écrans à électrodes de fond multiples (jusqu'à 7), placées à plat sur le fond de la rivière et transversalement au courant d'eau à une distance d'environ 1 m les unes des autres, sont actuellement commercialisés aux Etats-Unis. Alimentés par un générateur adéquat, ils permettent d'obtenir un champ électrique très progressif et peu choquant, et présentent par ailleurs l'avantage d'être exempts de problèmes de colmatage. En revanche, ils paraissent mal adaptés aux zones dont la profondeur est supérieure à 2 ou 3 mètres.

### 3.3 Utilisation - perspectives

Divers tests effectués tant en France [37 bis] qu'à l'étranger [38 bis ; 110 ter] sur ces divers types d'écrans ont démontré leur efficacité (70% à 100%) sur des poissons d'une taille suffisante ( $L \geq 30 - 40$  cm).

L'effet d'un tel type d'écran sur le comportement du saumon a été testé récemment en France [37 ter]. L'écran, installé dans un canal de fuite de microcentrale, ne semble pas créer à court et moyen terme de perturbations notables du comportement des poissons après passage dans le champ électrique. On n'observe ni dévalaison anormale ni stagnation de longue durée à l'aval de l'écran. Par contre, dans des conditions de site et de milieu défavorables (époque de l'année, température et surtout débit insuffisant dans le bras court-circuité), la barrière empêche les poissons d'entrer dans le canal de fuite sans pour autant remplir sa fonction de guidage vers l'amont de l'obstacle ; elle n'apporte donc dans ce cas, et temporairement aucune amélioration.

L'utilisation de tels écrans peut être envisagée dans certains cas comme alternative à la construction de passes au droit des usines hydroélectriques en empêchant l'accès des poissons au canal de fuite.

Il est cependant nécessaire de s'assurer dans chaque cas de la possibilité de passage dans le bras court-circuité non seulement par présence d'une passe efficace au barrage mais également par alimentation avec un débit réservé suffisant pour éviter le blocage comportemental des poissons à l'aval de l'écran électrique.

On trouve de nombreux exemples de réalisation d'écrans électriques à l'étranger. HARTLEY [38 bis] mentionne la construction, entre 1948 et 1951 de 7 écrans d'emploi régulier en Angleterre et de 5 de plus grandes dimensions installés devant des canaux de fuite de centrales hydroélectriques, en Ecosse.

En 1978, la firme allemande Döbler revendique la vente et l'installation de près de 50 écrans aussi bien en Allemagne que dans d'autres pays ; ces écrans étant principalement destinés à contenir la migration des crabes chinois, à empêcher l'entraînement des poissons dans les turbines et prises d'eau industrielles ou à enclore des superficies d'eau aménagées pour l'exploitation touristique ou commerciale du poisson.

En 1988, l'Institut des Pêches de Leningrad [76 bis] annonce l'utilisation en Union Soviétique de 40 écrans de taille importante (90 m de longueur et plus, jusqu'à 10 m de longueur d'électrodes).

Aux Etats-Unis, les écrans électriques sont actuellement utilisés pour empêcher les saumons adultes de remonter dans les piscicultures de repeuplement lorsque le nombre des retours est jugé suffisant.

En Chine, les écrans, proches du modèle soviétique, sont essentiellement utilisés pour éviter la fuite des poissons par les déversoirs des étangs d'élevage intensif ; une centaine, d'une longueur parfois très importante (jusqu'à 300 mètres), y sont actuellement en service [122 bis].

En France, ce type de barrière est encore considéré comme expérimental, bien qu'il existe un petit nombre de réalisations de taille moyenne destinées à empêcher les saumons de pénétrer dans les canaux de fuite.

L'écran électrique présente, à l'évidence, de nombreux avantages (coût, colmatage réduit, absence de perte de charge). On doit cependant envisager son implantation avec prudence et chaque projet doit faire l'objet d'une étude particulière. Il ne peut pas être considéré comme une alternative systématique à la construction de passes à poissons au droit des usines hydroélectriques en raison des impératifs déjà évoqués. On devra s'assurer par ailleurs, au cas par cas, que l'écran ne perturbe pas ou ne met pas en danger les individus en dévalaison. Il faut en outre prendre en compte les contraintes de maintenance du dispositif : contrôle et entretien du générateur, des câbles et connexions, surveillance de la corrosion à long terme des électrodes...

Afin de mieux définir les possibilités réelles et les conditions d'utilisation de ce type de barrière, il serait donc souhaitable que plusieurs installations soient suivies, tant sur le plan de l'efficacité que sur celui des contraintes de maintenance.

Les coûts de ces barrières peuvent être très variables en fonction des caractéristiques des sites et du type de barrière utilisée. Selon l'expérience récemment acquise en France, le coût d'un écran de type "ERZU-1" ou du type "à deux rangées d'électrodes" appliqué à un canal de fuite de micro centrale de profondeur moyenne (2 m à 3 m) est de l'ordre de 80 KF pour une longueur de 20 mètres. Sa consommation est de quelques centaines de watts.

### 3.4 Précautions à prendre et aspects légaux

Compte tenu des formes de courant généralement utilisées (impulsions à faible fréquence) et des voltages mis en jeu, les écrans électriques ne présentent qu'un danger modéré pour l'homme. Un certain nombre de précautions obligatoires doivent cependant être prises en ce qui concerne aussi bien le personnel d'entretien que le public.

Un arrêté interministériel (17 mars 1993 publié au J.O. du 27 mars 1993) a été pris en application de l'article 22 du décret du 14 novembre 1988 relatif à la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en oeuvre des courants électriques. Il porte dérogation aux prescriptions de l'article 11 de ce même décret ("Il est interdit d'employer, comme partie d'un circuit actif, la terre, une masse..."), pour les installations électriques fixes dites barrières électriques.

Ce texte fixe les conditions d'installation et d'utilisation des écrans électriques. Un certain nombre de précautions particulières doivent être prises (mesures compensatrices). Citons pour l'essentiel :

- l'interdiction d'utiliser une tension dont la valeur crête est supérieure à 1000 volts ;
- l'obligation d'utiliser un transformateur de séparation dans le cas d'un générateur alimenté par une distribution basse tension ;
- l'obligation de délimiter, côté terre par une clôture et côté eau par une ligne de flotteurs, un périmètre d'accès réservé au personnel d'exploitation. En outre, des pancartes indiquant clairement la nature du danger et des dispositifs lumineux pulsés devront être installés pour dissuader le public de pénétrer dans ce périmètre. ■

**A**  
**Aération :**

entraînement d'air dans l'eau sous forme de bulles qui donnent à l'eau un aspect caractéristique ("eaux blanches") et diminuent sa densité apparente.

**Aérobic :**

qualifie une réaction, une activité qui ne peut se réaliser qu'en présence d'oxygène.

**Alevinage :**

introduction d'alevins dans le milieu aquatique. Par extension, toute action de repeuplement visant au soutien ou à la reconstitution de stocks de poissons.

**Amphibiotique :**

poisson migrateur qui doit changer de milieu (milieu marin - eau douce) pour accomplir son cycle biologique. Le saumon, l'anguille, l'aloise sont des migrateurs amphibiotiques.

**Anaérobic :**

qualifie une réaction, une activité qui se réalise en absence d'oxygène.

**Anguille jaune :**

anguille pendant sa phase de vie continentale, caractérisée par une coloration jaune de l'abdomen. Peu avant son départ en mer, cette coloration disparaît et l'animal prend alors le nom "d'anguille argentée".

**Anguillette :**

jeune anguille après le stade civelle.

**Ascenseur à poissons :**

ouvrage de franchissement d'un obstacle à la migration assurant le transfert mécanique des poissons préalablement capturés dans une cage ou une cuve.

**Attractivité :**

qualité d'un dispositif de franchissement facile à repérer pour les migrateurs. Le poisson trouvera facilement et rapidement l'entrée d'une passe attractive.

**Aubes :**

voir turbines.

**B**  
**Bassin de dissipation d'énergie :**

bassin particulier d'une passe à poissons servant à la tranquillisation d'un débit complémentaire destiné à en renforcer l'attractivité. Ce débit est généralement injecté dans le bassin aval de la passe.

**Bief :**

tronçon de canal ou de cours d'eau compris entre deux seuils ou deux barrages.

**Bull :**

activité d'un couple d'aloses qui tourne à la surface de l'eau au moment de la reproduction.

**By-pass :**

circuit d'évitement contournant un appareil, une installation, un dispositif.

**C**  
**Charge :**

hauteur d'eau sur un seuil, un déversoir ou une passe à ralentisseurs, mesurée par la différence de cote entre le plan d'eau amont et le point de début de déversement. La connaissance de la charge permet généralement de calculer le débit transitant dans un ouvrage.

**Civelle :**

stade juvénile de l'anguille à son arrivée sur les côtes européennes. Les civelles les plus jeunes ont un aspect transparent et prennent progressivement une coloration foncée.

**Clapet à marée :**

vanne située à l'embouchure des fleuves, interdisant la pénétration de l'eau de mer à marée montante.

**Cote d'arase :**

cote fixée pour le sommet d'un mur ou d'une cloison.

**Courbe de remous :**

profil longitudinal du niveau de la ligne d'eau à l'amont d'un seuil ou d'un organe de contrôle du débit.

**Cyprinidés :**

famille de poissons comprenant notamment la carpe, le barbeau, le gardon, la brème...

**DCN10 :**

dixième valeur prise dans le tableau des débits moyens journaliers d'un cours d'eau classés dans l'ordre croissant. Cette valeur permet d'apprécier l'importance de l'étiage.

**DCX10 :**

dixième valeur prise dans le tableau des débits moyens journaliers d'un cours d'eau classés dans l'ordre décroissant. Cette valeur permet d'apprécier l'importance des débits élevés.

**Débit d'appoint, ou débit d'attrait complémentaire :**

débit injecté après dissipation d'énergie dans la partie aval d'une passe à poissons pour renforcer son attractivité. Ce procédé permet d'augmenter le débit sortant d'une passe sans accroître démesurément les dimensions du génie civil.

**Débit réservé :**

fraction du débit d'un cours d'eau qui ne peut être utilisée par l'entreprise hydraulique et qui est réservée à d'autres usages, par exemple au maintien d'un débit minimal permanent dans la partie de cours d'eau court-circuitée par un aménagement. Le débit réservé peut souvent être utilisé pour assurer le fonctionnement d'une passe à poissons.

**Décollement :**

modification de l'écoulement au voisinage d'un obstacle, où le fluide a tendance à se séparer des parois de l'obstacle, créant une zone de fluide mort, plus ou moins au repos, ou animé de vitesses tourbillonnaires plus ou moins désordonnées. Dans les passes à poissons, les décollements sont provoqués par le passage dans une restriction et par la présence d'une arête vive.

**Débit unitaire :**

pour les déversoirs ou les passes à ralentisseurs : débit rapporté à l'unité de largeur (exprimé en m<sup>3</sup> par seconde par m de largeur).

**Dévalaison ou avalaison :**

phase du cycle des espèces migratrices où les poissons descendent les cours d'eau pour gagner la mer (migrateurs amphibiotiques) ou des zones de production situées en aval (migrateurs holobiotiques).

**Déversoir à crête épaisse :**

déversoir dont l'épaisseur de la crête ( $e$ ) est du même ordre de grandeur (ou plus grande) que la hauteur d'eau (charge  $h$ ) sur le déversoir ( $h < 1,5e$ ).

**Déversoir dénoyé :**

déversoir dont le débit n'est pas affecté par le niveau du plan d'eau aval. Lorsque le plan d'eau aval est plus bas que le seuil du déversoir, celui-ci est dénoyé.

**Déversoir en mince paroi :**

déversoir dont l'épaisseur de la crête ( $e$ ) est faible comparée à la hauteur d'eau (charge  $h$ ) sur le déversoir ( $h > 2e$ ).

**Directrices :**

aubes, de formes profilées mobiles autour d'un axe, situées sur le distributeur d'une turbine, pouvant s'ouvrir ou se fermer à la manière de persiennes et permettant de faire varier le débit dans la roue.

**Disque de secchi :**

disque coloré que l'on descend dans un plan d'eau. La profondeur à laquelle il cesse d'être visible donne une mesure de la transparence de l'eau.

**Drome :**

ensemble constitué de pontons, madriers ou flotteurs disposés à la surface d'un plan d'eau et orientés de façon à détourner les corps flottants qui risqueraient d'obturer les prises d'eau.

**Echancrure déversante :**

ouverture de surface (généralement rectangulaire) pratiquée dans une cloison pour permettre le passage d'un débit (par exemple entre deux bassins d'une passe à bassins successifs).

**Echancrure noyée :**

se dit d'une échancrure dont le seuil est situé au dessous du niveau du plan d'eau aval.

**Echarpe :**

dispositif généralement constitué d'un muret placé en diagonale sur un déversoir à parement aval incliné, pour concentrer le débit et permettre la nage des poissons sur des obstacles où l'épaisseur de la lame d'eau est insuffisante.

**Ecluse à poissons :**

ouvrage de franchissement d'un obstacle à la migration fonctionnant suivant un principe analogue aux écluses à bateaux.

**Écoulement de type karstique :**

caractéristique des cours d'eau sur formations calcaires, avec la présence d'écoulements souterrains et de nappes puissantes. Les débits sont souvent bien régulés, mais on peut observer localement des singularités telles que des pertes de débits vers la nappe ou au contraire des brusques augmentations de débit (résurgences).

**Engrèvement :**

accumulation de granulats (graviers, galets) dans un ouvrage hydraulique (en particulier dans les bassins d'une passe à poissons).

**Entrée secondaire :**

une des entrées donnant accès à une galerie collectrice, ou bien entrée supplémentaire permettant l'accès des migrateurs à une passe à poissons (par opposition à entrée principale).

**Etiage :**

période de l'année pendant laquelle le débit des cours d'eau est le plus faible. Les cours d'eau de la façade atlantique connaissent un étiage estival ou automnal.

**Fente verticale :**

échancrure étroite, profonde et fortement noyée, pratiquée dans une cloison pour permettre le passage d'un débit.

**Frayère :**

site de reproduction des poissons. Chez les salmonidés et les lamproies, la frayère est également appelée "nid de ponte" et constituée par une zone où le gravier a été remué et contient les œufs. Les frayères peuvent être visibles dans le lit du cours d'eau et leur recensement donne une idée précise du potentiel reproducteur présent dans un bassin.

**Galerie collectrice :**

canal horizontal muni de plusieurs entrées pour le poisson, placé au-dessus des rejets des turbines dans le cas d'une usine de grande largeur, servant à guider les migrateurs jusqu'à l'entrée d'une passe à poissons.

**Granulats :**

ensemble de matériaux (sable, gravier, galets...) entrant dans la composition des mortiers et bétons. Par extension, matériaux alluvionnaires extraits dans le lit mineur et le lit majeur d'un cours d'eau.

**Grilse ou castillon :**

type de saumon à court séjour marin (environ 18 mois), très caractéristique des cours d'eau du massif armoricain.

**Holobiotique :**

poisson migrateur qui réalise son cycle biologique dans le même milieu de vie (par exemple entièrement en eau douce). La truite, le brochet sont des migrateurs holobiotiques.

**Homing :**

phénomène de retour au foyer chez les migrateurs potamotoques qui viennent se reproduire dans le réseau hydrographique où ils sont nés.

**Hydraulicité :**

rapport du débit du cours d'eau à une valeur de référence (par exemple moyenne annuelle calculée sur une longue période), permettant de caractériser l'importance de l'écoulement : hydraulicité faible (étiage) ou forte (crue).

**Hydrodynamique (conditions hydrodynamiques) :**

ensemble des caractéristiques (vitesses, débit, direction des filets liquides, tirant d'eau, aération...) décrivant un écoulement (par exemple, dans une passe à poissons ou au pied d'un obstacle).

**Hydrologique :**

qui a trait aux régimes fluviaux, aux débits et à leur variations.

**Hydrophone :**

appareil transformant, dans un liquide les oscillations acoustiques en oscillations électriques (microphone immergé).

**Hystérésis :**

propriété présentée par un système dont les propriétés à un instant donné dépendent de son évolution antérieure et pas seulement des paramètres décrivant le système à cet instant. Par exemple, la transition jet plongeant/jet de surface se fait à une cote plus haute du plan d'eau aval lorsqu'on se situe dans des conditions de noyage croissant que lorsqu'on la constate dans des conditions de noyage décroissant (abaissement du plan d'eau aval).

**Inventaire piscicole :**

échantillonnage du peuplement de poissons d'un cours d'eau permettant de connaître les espèces présentes, leur importance relative, voire les quantités de chaque espèce présente. Les inventaires piscicoles sont réalisés par la capture de poissons au moyen de pêche aux filets ou de pêche à l'électricité.

**Jet de surface :**

forme d'écoulement où le jet produit par un déversoir demeure en surface. Ce phénomène est observé lorsque le déversoir est suffisamment noyé sous le niveau aval.

**Jet plongeant :**

forme d'écoulement où le jet produit par un déversoir plonge vers le fond. Un tel écoulement se rencontre sur des déversoirs dénoyés ou faiblement noyés.

**Loi de similitude hydraulique :**

les lois de similitude définissent les rapports existant entre des mesures effectuées sur un modèle réduit (débits, vitesses, profondeurs), et les valeurs correspondantes sur l'ouvrage en vraie grandeur.

**Louver (ou écrans "à persiennes") :**

écran constitué de déflecteurs de courant, permettant de dévier le poisson vers un by-pass lors de sa migration de dévalaison.

**Marques magnétiques :**

élément métallique magnétique, de petite taille, détectable par capteur, et servant à marquer les poissons pour une reconnaissance individuelle ou par lot. Les marques magnétiques sont insérées dans la cavité générale du poisson ou dans des cartilages.

**Module interannuel :**

valeur de référence constituée par le débit moyen annuel du cours d'eau au droit de l'aménagement, calculé sur un grand nombre d'années.

**Montée ou Montaison :**

phase du cycle des espèces migratrices où les poissons remontent les cours d'eau pour gagner des zones de reproduction ou de grossissement.

**Orifice noyé :**

ouverture (généralement de forme carrée ou rectangulaire) pratiquée dans une cloison pour permettre le passage d'un débit (et éventuellement du poisson dans le cas d'une passe). Contrairement aux fentes et échancrures, les orifices noyés sont entièrement situés au dessous de la surface de l'eau.

**Pales :**

voir turbine

**Parafouille :**

dalle de béton ou mur profond évitant l'affouillement par l'eau au pied des seuils ou barrages.

**Parement :**

surface apparente d'un ouvrage de maçonnerie ou de béton. Les barrages de moulin présentent souvent un parement en pente vers l'aval.

**Passe à bassins successifs :**

ouvrage de franchissement d'un obstacle à la migration reposant sur le principe du fractionnement d'une chute importante en plusieurs chutes plus faciles à franchir.

**Passé à ralentisseurs :**

ouvrage de franchissement d'un obstacle à la migration constitué d'un canal en pente dans lequel des dispositifs (ralentisseurs) limitent la vitesse moyenne de l'écoulement.

**Passé Denil :**

(du nom de l'ingénieur DENIL). Synonyme de passé à ralentisseurs.

**Passé-piège :**

passé à anguilles dont la partie amont est constituée d'un système de capture permettant de dénombrer les individus qui ont emprunté l'ouvrage, et leur transport éventuel en amont d'un obstacle important.

**Physocliste :**

se dit des poissons dont la vessie natatoire a perdu toute communication avec l'œsophage.

**Physostome :**

se dit des poissons dont la vessie natatoire est reliée à l'œsophage par un canal pneumatique.

**"Pincer" un écoulement :**

concentrer un débit dans une échancrure étroite et profonde pour maintenir une vitesse d'écoulement élevée et/ou limiter le débit quelles que soient les variations des niveaux amont et aval.

**Popper :**

canon à air destiné à faire des explosions ou des implosions sous-marines utilisés pour les études sismiques.

**Potamotoque :**

qualifie les poissons migrateurs dont la reproduction a lieu en eau douce. Le saumon, l'aloise sont des migrateurs potamotoques.

**Prébarrage :**

petit seuil construit au pied d'un obstacle à la migration pour fractionner la chute et faciliter le passage du poisson.

**Puissance dissipée volumique :**

paramètre utilisé comme indicateur du niveau d'agitation de l'eau dans une passe à bassins. La puissance dissipée volumique se calcule par la formule

$$P_v = \rho g Q \frac{DH}{V}$$

ou

$P_v$  = puissance dissipée volumique (W/m<sup>3</sup>)

$\rho$  = masse volumique de l'eau, soit 1000kg/m<sup>3</sup>

$g$  = accélération de la pesanteur, soit 9,81 m/s<sup>2</sup>

$Q$  = débit dans la passe (m<sup>3</sup>/s)

$DH$  = hauteur de chute entre deux bassins (m)

$V$  = volume d'eau dans le bassin considéré (m<sup>3</sup>)

**Quantité de mouvement :**

grandeur définie comme le produit de la vitesse par le débit. La quantité de mouvement est, avec la vitesse, un facteur important d'attraction des poissons migrateurs.

**Quartile :**

chacune des 3 valeurs qui divisent une distribution statistique en 4 parties d'effectifs égaux.

**Radier :**

dalle de pierres de taille, de maçonnerie ou de béton constituant la fondation d'un ouvrage. Par extension, le terme désigne ici le revêtement du fond des passes à poissons.

**Radiopistage :**

technique permettant de suivre avec précision (de l'ordre du mètre) les déplacements d'un animal en l'équipant d'un émetteur radio miniaturisé qui est ensuite repéré par triangulation.

**Rayon hydraulique :**

grandeur caractérisant l'écoulement dans un canal ou une buse. Le rayon hydraulique est le quotient de la section mouillée par le périmètre mouillé.

**Régime torrentiel :**

écoulement rapide caractérisé par une vitesse supérieure à la vitesse de propagation des ondes de surface. Le retour de l'écoulement torrentiel à l'écoulement fluvial provoque la création d'un ressaut.

**Ressaut :**

zone à forte turbulence assurant la dissipation d'énergie à l'aval d'un écoulement torrentiel.

**Rugosité :**

aspérités de surface dans le lit d'un cours d'eau, d'un canal ou sur les parois d'une conduite.

**Section de régulation :**

aménagement particulier de la partie amont d'une passe à poisson permettant de limiter les variations de débit et les hauteurs de chute dans l'ouvrage lorsque le niveau amont fluctue de façon importante.

**Smoltification :**

transformation physiologique et morphologique par laquelle les jeunes salmonidés migrants s'adaptent à la vie en milieu marin.

**Stimulus :**

éléments de l'environnement susceptible d'activer certains récepteurs sensoriels d'un individu et d'avoir un effet sur son comportement.

**Stratification :**

dans les plans d'eau profonds, on peut observer à certaines périodes de l'année un gradient vertical pour certains facteurs physico-chimiques (température, oxygène, concentration de substances dissoutes). Il faut dans un tel cas prendre les garanties nécessaires pour que l'alimentation d'un dispositif de franchissement se fasse avec une eau de qualité adéquate pour le poisson.

**Thalassotoque :**

qualifie les poissons migrants dont la reproduction a lieu en mer. L'anguille est un migrateur thalassotoque.

**Tirant d'eau :**

profondeur d'eau (dans un canal, un bassin, une passe à ralentisseurs, etc.).

**Transport solide :**

transport de matériaux (limons, sable, graviers, galets, blocs) par suspension ou charriage dans un cours d'eau.

**Trophique :**

qui est relatif à la nutrition.

**Turbine :**

les turbines permettent de transformer l'énergie contenue dans l'eau d'un cours d'eau en énergie mécanique. Elles comportent un dispositif d'admission fixe, mais généralement réglable, qui permet de faire varier le débit (distributeur), une roue mobile qui absorbe l'énergie de l'eau récupérée sous forme d'énergie mécanique sur son axe et un organe de rejet de l'eau à l'aval. Turbines Pelton, Francis et Kaplan se distinguent par la forme de la roue. La première est constituée d'augets en forme de double cuiller fixés à la périphérie d'une roue. La seconde est constituée d'un certain nombre de cloisons incurvées (aubes) situées entre deux flasques plans et parallèles. La troisième est constituée d'une hélice comportant un nombre restreint de pales disposées autour d'un moyeu. Les pales sont orientables ce qui permet d'améliorer le rendement lorsque le débit dans la roue varie. Les turbines Francis et Kaplan se terminent par un aspirateur (ou diffuseur) mettant en communication la sortie de la roue avec le bief aval.

**Vitesse débitante :**

rapport du débit sur la section d'un écoulement.

**Volée :**

ensemble rectiligne constitué par un canal muni de ralentisseurs dans une passe à ralentisseurs, et que le poisson doit franchir sans marquer d'arrêt. Une passe à ralentisseurs peut être composée de plusieurs volées séparées par des bassins de repos.

**Vortex :**

tourbillon creux prenant naissance dans certaines conditions dans un fluide en écoulement. Par exemple on observe un vortex lors de la vidange d'un réservoir par un orifice situé dans le fond..

**Zone de recirculation :**

partie de bassin ou de cours d'eau où l'écoulement se referme sur lui-même. De telles zones participent de ce fait peu à l'écoulement général du site et sont susceptibles de masquer l'entrée d'ouvrage de franchissement ou piéger des migrateurs qui peuvent y rester prisonniers pendant un certain temps.

- 1 AITKEN P.L., DICKERSON L.H., MENZIES W.J.M., 1966. Fish passes and screens at water power works. Proc. Inst. Civ. Eng., 35 : 29-57.
- 2 ANDREW F.J., 1990. The use of vertical-slot fishways in British Columbia, Canada. Proc. Int. Symp. on fishways, Gifu, Japan, 267-274.
- 3 BARIL D., 1988. Etude des conditions de franchissement par l'aloise (*Alosa ficta rhodannensis*) d'une passe à ralentisseurs de fond expérimentale (site expérimental de Beaucaire). Rapp. final CSP, 35 p.
- 3 bis BATES D.W., LOGAN O., PESONEN E., 1960. Efficiency evaluation, Tracy Fish Collecting Facility, Central Valley Project. United States Department of the Interior, 70 p.
- 4 BATES K., 1990. Recent experience in cost efficient fish passage in Washington state. Proc. Int. Symp. on fishways, Gifu, Japan, 335-341.
- 5 BEACH M.H., 1984. Fish pass design. Criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fishes in rivers. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Lowestoft, Fish. Res. Tech. Rep. 78, 45 p.
- 6 BELL M.C., 1981. Updated compendium of the success of passages of small fish through turbines. Fish. Eng. Res. Prog., U.S. Army Corps of Eng., North Pacific Div., Portland, Oregon, 294 p.
- 7 BELL M.C., 1986. Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria. Fish. Eng. Res. Prog., U.S. Army Corps of Eng., North Pacific Div., Portland, Oregon, 290 p.
- 8 BELL M.C., DELACY A.C., 1972. A compendium on the survival of fish passing through spillways and conduits. Fish. Eng. Res. Prog., U.S. Army Corps of Eng., North Pacific Div., Portland, Oregon, 121 p.
- 9 BLAXTER J.H.S., 1969. Swimming speeds of fish. FAO Fish. Rep., 62(1) : 69-100.
- 10 BLAXTER J.H.S., W. DICKSON, 1959. Observations on the swimming speeds of fish. J. cons. perm. Int. Explor. Mer., 24 (3) : 472-9.
- 11 BOITEN W., 1990. Hydraulic design of the pool-type fishway with V-shaped overfalls. Proc. Int. Symp. on fishways, Gifu, Japan, 335-341.
- 12 BOMASSI P., TRAVADE F., 1985. Projet de réimplantation du saumon dans la partie supérieure de l'Allier : expériences sur les possibilités de dévalaison des saumoneaux au barrage hydroélectrique de Poutès en 1983 et 1984. Colloque pour la restauration des rivières à saumons, 11 p.
- 13 BONNEFOIS P., 1988. Le compteur à poissons type "FRON" au sein des techniques de comptage, CEMAGREF, 110 p.
- 14 BOYER-BERNARD S., 1991. Contribution à la définition de dispositifs d'évitement des centrales hydroélectriques pour les juvéniles de poissons migrateurs. Thèse de doctorat, INP Toulouse, 382 p.
- 15 BUSSEL R.B., 1978. Fish counting stations (notes for guidance in their design and use). Dept. of the Envir., Londres, 97 p.
- 16 C.T.G.R.E.F., 1981. Migration des aloses dans le bas-Rhône : observations effectuées en 1979 et 1980. Rapp. non publié, 10 p.
- 16 bis CHMIELEWSKI A., 1968. Ecran électrique à poissons triphasé type M6 pour installations très grandes. In "Applications de l'électricité à la biologie et à l'aménagement des pêches continentales" (Vibert R., Ed.) Symposium CECPI Belgrade 1966. Inst. Nat. Rech. Agr. St Péé sur Nivelle 1 vol. 278 p.

A

B

C

- CLAY C.H., 1961. Design of fishways and other fish facilities. Dept. of Fisheries, Ottawa, Canada, 301 p. 17
- CONSEIL SUPERIEUR DE LA PECHE, 1989. Estimation d'efficacité de deux dispositifs de franchissement sur des seuils du Gave de Pau. Délégation Régionale Midi-Pyrénées, Aquitaine, 13 p. 18
- CONSEIL SUPERIEUR DE LA PECHE. Le Saumon et la station de contrôle et d'étude des migrations de Kerhamon (rivière Elorn - Finistère). Note CSP, 84 rue de Rennes 35510 Cesson Sévigné. 18 bis
- D** DALLEY P.J., 1980. A review of fish passage facilities for american shad. Northeast Fish and Wildlife Conf., Ellenville, New-York, 32 p. 19
- DANE B.G., 1983. A review and resolution of fish passage problems at culverts sites in British Columbia. Fisheries and Marine Serv., Vancouver, Rep. 810, 126 p. 20
- DARTIGUELONGUE J., 1990. Suivi de la migration de dévalaison et de montaison à la passe à poissons du Ramier au printemps 1990, 41 p. 21
- DARTIGUELONGUE J., 1991. Contrôle du fonctionnement et de l'efficacité des passes à poissons installées au Bazacle en 1990, 31 p. 22
- DARTIGUELONGUE J., 1992. Contrôle du fonctionnement et de l'efficacité des passes à poissons installées au Bazacle. Suivi de l'activité ichtyologique en 1991, 22 p. 23
- DARTIGUELONGUE J., LARINIER M., TRAVADE F., 1992. Etude du comportement de l'aloise dans la passe à poissons à l'usine de Tuilières sur la Dordogne. Rapp. CSP-EDF, 55 p. 24
- DENIL G., 1909. Les échelles à poissons et leur application aux barrages de Meuse et d'Ourthe. Bull. Acad. Sci. Belg., 1221-1224. 25
- DENIL G., 1936-1938. La mécanique du poisson de rivière. Ann. Trav. Publ. Belg., 395 p. 26
- DRYDEN R.L., STEIN J.M., 1975. Guidelines for the protection of the fish resources of the Northwest territories during highway construction and operation. Fisheries and Marine Serv., Tech. Rep. Series CEN/T-75-1, 32 p. 27
- DUNKLEY D.A., SHELTON G.J., 1991. Recent developments in automatic fish counters for salmon rivers. Int. Council for the Exploration of the Sea, CM 1991/M, 27, 5 p. 28
- E** EICHER G.J., 1985. Fish passage : protection of downstream migrants. Hydro Rev., 5 p. 29
- ENGEL P., 1974. Fish facilities for culverts of the McKenzie highway. Nat. Wat. Res. Inst., Burlington, Ontario, 33 p. 30
- EPRI, 1986. Assessment of downstream migrant fish protection technology of hydroelectric application. Stone and Webster Eng. Corp., Boston, Massachusetts, 420 p. 31
- EPRI, 1987. Turbine-related fish mortality : review and evaluation of studies. Res. Project 2694-4, Final Rep., 102 p. 32
- EUZENAT G., FOURNEL F., 1983. Etude préliminaire des conditions hydrauliques du passage mer/rivière des salmonidés migrateurs en Seine-Maritime. Problèmes du busage estuarien. Rapp. CSP, 8 p. 33
- EUZENAT G., LARINIER M., 1990. Port de Pêche du Tréport, barrage-écluse. Dispositif de franchissement par les poissons migrateurs. Rapp. CSP, 65 p. 34
- EVANS W.A., JOHNSTON F.B., 1980. Fish migration and fish passage ; a practical guide to solving fish passage problems. U.S.D.A., Forest Serv., Region 5, 43 p. 35

- 36 FIELDS P.E., 1966. Final report on migrant salmon light guiding studies at Columbia rivers dams. Fish. Eng. Res. Prog., U.S. Army Corps of Eng., North Pacific Div., Portland, Oregon, 266 p.
- 37 GOSSET C., 1986. Présentation et essais d'un compteur à résistivité pour poissons. Bull. Fr. Pisc., 303 : 141-151.
- 37 bis GOSSET C., 1989. Etude sur l'installation d'écrans électriques à poissons. Convention d'étude Région Midi-Pyrénées/INRA. Rapp. tech. INRA, St Pée sur Nivelle, 55 p.
- 37 ter GOSSET C., TRAVADE F., GARAICOHEA C., 1992. Influence d'un écran électrique en aval d'une usine hydroélectrique sur le comportement de remontée du saumon atlantique (*Salmo salar*). Bull. Fr. Pisc. (1992) 324 : 2-25.
- 38 HADDERINGH R.H., VAN DER STOEP J.W., HAGRAKEN J.M.P.M., (à paraître). Deflecting eels from water inlets of power stations with light. Irish Fish. Invest.
- 38 bis HARTLEY W.G., SIMPSON D., 1968. Ecrans électriques à poissons au Royaume-Uni. In "Applications de l'électricité à la biologie et à l'aménagement des pêches continentales (Vibert R., Ed). Symposium CECPI, Belgrade 1966 Inst. Nat. Rech. Agr. St-Pée sur Nivelle, 1 vol. 278 p.
- 38 ter HOLMES H.B., 1948. History, development and problems of electric fish screens. U.S. Dept. of Int. Fish and Wildlife Service, Spec. Sci. Rep. n° 53, 62 p.
- 39 I.F.M.T., 1982. Seuil de Belleville. Etude sur modèle réduit de la passe à poissons. Rapp. 391-3, 19 p.
- 40 I.F.M.T., 1983. Barrage de Bergerac. Etude sur modèle réduit de l'échelle à poissons. Rapp. 411, 109 p.
- 41 I.F.M.T., 1986. Etude sur modèle réduit de la passe à poissons à l'usine du Ramier. Rapp. 427-1, 44 p.
- 42 I.F.M.T., 1988. Passe à poissons de l'usine hydroélectrique du Bazacle. Etude sur modèle réduit. Rapp. 442-1, 18 p.
- 43 I.F.M.T., 1988a. Etude sur modèle réduit de l'écoulement dans les exutoires des rivières côtières de Seine-Maritime. Cas de l'Arques. Rapp. 436.2, 21 p.
- 44 I.F.M.T., 1988b. Etude sur modèle réduit de l'écoulement dans les exutoires des rivières côtières de Seine-Maritime. Ouvrage de rejet en mer. Rivière La Durdent. Rapp. 436.3, 38 p.
- 45 I.F.M.T., 1990. Port du Tréport. Etude sur modèles réduits d'une passe à poissons de l'évacuateur de crues du chenal de restitution. Rapp. 452.1, 65 p.
- 46 I.F.M.T., 1991. Etude hydraulique d'une rivière artificielle. Application au Lac des Gaves. Rapp. Hydre 33, 9 p.
- 47 JENS G., 1982. Der Bau Von Fishwegen. Hambourg und Berlin. P. Parey (Ed), 92 p.
- 48 JOLIMAÏTRE J.F., 1992. Franchissement par l'aloise feinte de l'aménagement de la chute de Vallabrègues : étude du franchissement de l'écluse de navigation. Avant-projet de passe à poissons sur le seuil de Beaucaire. CSP, 42 p.
- 49 KATOPODIS C., 1984. Drainage design considerations for fish passage. Proc. of 3rd Annual Western Provincial Conf. Rationalization of Water and Soil Research and Management. Manitoba Water Resources Branch : 347-376.
- 50 KATOPODIS C., ROBINSON P.R., SUTHERLAND B.G., 1978. A study of model and prototype culvert baffling for fish passage. Fisheries and Marine Serv., Tech. Rep. 828, 78 p.
- 51 KIPPER Z.M., MILEIKO I.V., 1962. Fishways in hydrodevelopments of the USSR. Rybnoe Khozaistvo, Moseva, 57 p.

F

G

H

I

J

K

- L** KNIGHT D.W., MCDONALD J.A., 1979. Hydraulic resistance of artificial strip roughness. *J. Hydr. Div.*, 105 (HY6) : 675-690. 52
- KREITMANN L., 1925. Passes à poissons et lacs de barrage en Suisse. *Compte rendu de mission piscicole*. Ministère de l'Agriculture, Direction Générale des Eaux et Forêts, 43 p. 53
- LAMARQUE P., 1968. Electrophysiologie du poisson soumis à l'action d'un champ électrique. In "Applications de l'électricité à la biologie et à l'aménagement des pêches continentales" (Vibert R., Ed) Symposium CECPI, Belgrade, 1966. *Inst. Nat. Rech. Agr. St Pée sur Nivelles* 1 vol. 278 p. 53 bis
- LARINIER M., 1977. Les passes à poissons. Etude 16. Ministère de l'Agriculture, CTGREF, 136 p. 54
- LARINIER M., 1978. Etude du fonctionnement d'une passe à poissons à ralentisseurs plans. *Bull. Fr. Pisc.*, 271 : 40-54. 55
- LARINIER M., 1983. Guide pour la conception des dispositifs de franchissement des barrages par les poissons migrateurs. *Bull. Fr. Pisc.*, numéro spécial, 39 p. 56
- LARINIER M., 1984. Dispositif mixte passe à poissons-glisière à canoë-kayak. *Rapp. préliminaire non publié*, 19 p. 57
- LARINIER M., BOYER-BERNARD S., 1991a. Dévalaison des smolts et efficacité d'un exutoire de dévalaison à l'usine hydroélectrique d'Halsou sur la Nive. *Bull. Fr. Pisc.*, 321 : 30-51. 58
- LARINIER M., BOYER-BERNARD S., 1991b. La dévalaison des smolts de saumon atlantique au barrage de Poutès sur l'Allier : utilisation de lampes à vapeur de mercure en vue d'optimiser l'efficacité de l'exutoire de dévalaison. *Bull. Fr. Pisc.*, 323 : 129-148. 59
- LARINIER M., DARTIGUELONGUE J., 1989. La circulation des poissons migrateurs : le transit à travers les turbines des installations hydroélectriques. *Bull. Fr. Pisc.*, 312-313, 94 p. 60
- LARINIER M., GOSSET C., 1993. La libre circulation des migrateurs. In "Le saumon atlantique" sous la Direction de J. GUEGUEN et P. PROUZET (Ed. IFREMER). Sous presse. 60 bis
- LARINIER M., MIRALLES A., 1981. Etude hydraulique des passes à ralentisseurs. *Rapp. non publié*, CEMAGREF, 53 p. 61
- LARINIER M., TRAVADE F., 1992. Utilisation des dispositifs de franchissement pour le suivi des stocks et la gestion des populations de poissons migrateurs. Colloque franco-québécois sur l'utilisation des technologies modernes à la gestion des poissons dulcicoles et amphihalins, Montréal, 12 p. 62
- LEGAULT A., 1990. Gestion des barrages estuariens et migration d'anguilles. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.*, 75 (6) : 819-825. 63
- LEGAULT A., 1991. Etude de quelques facteurs de sélectivité de passes à anguilles. *Communication EIFAC, Working party on Eel*, Dublin, 12 p. 64
- LEGAULT A., 1993. L'anguille. Aménagement des obstacles à la migration. A.D.A. (Ed.) B.P. 24, 33610 CESTFAS, 32 p. 65
- LENNE D., 1990. Circulation des poissons migrateurs : franchissement des buses et étude hydraulique des passes à bassins successifs. *ENITRS CEMAGREF*, 70 p. 66
- LETHLEAN H.G., 1953. An investigation into the design and performance of electric fish screens and an electric fish counter. *Trans. R. Soc. of Edinburgh*, 62, 479-526. 66 bis
- LITAUDON A., 1985. Observations préliminaires sur le franchissement du seuil de Saint-Laurent-des-Eaux (Loire) par l'alose (*Alosa alosa*). *Rapp. EDF HE/31/85-37*, 63 p. 67

- 68 LONG C.W., 1959. Passage of salmonids through a darkened fishway. U.S. Fish and Wildlife Serv., Spec. Sci. Rep. Fisheries, 300, 9 p.
- 69 LONNEBJERG N., 1980. Fiskepas af modströmstypen. Meddelelser fra Ferskvandsfiskerilab. Danmarks Fiskeri-og Havundersogelser, Silkeborg, 107 p.
- 70 LONNEBJERG N., 1990. Fishways in Denmark. Proc. Int. Symp. on fishways, Gifu, Japan, 253-257.
- 71 MALEVANCHIK B.S., RYAKHOVSKAYA G.N., 1971. Design of fish ladders at hydrodevelopments. *Gidrotekh. Stroit.*, 2 : 6-11.
- 72 MCKINLEY W.R., WEBB R.D., 1966. A proposed correction of migratory fish problems at box culverts. *Fish. Res. Pap.*, 1(4) : 33-45.
- 73 MCLEAVE J.D., POWER J.H., ROMMEL S.A., 1978. Use of radio telemetry for studying upriver migration of adult atlantic salmon (*Salmo salar*). *J. Fish. Biol.*, 12 : 549-558.
- 74 MCLEAVE J.D., 1979. Swimming performance of European eel (*Anguilla anguilla* (L.)) elvers. *J. Fish Biol.*, 16, 445-452.
- 75 MCLEOD A.M., NEMENYI P., 1940. An investigation of fishways. *Bull. Iowa State Univ.*, Ames, Iowa, 24 : 1-72.
- 76 METSKER H.E., 1970. Fish versus culverts, some considerations for resource managers. USDA Forest Serv., Ogden, Utah. Eng. Tech. Rep. ETR-7700-5, 22 p. attention, porté 1968 dans le texte
- 76 bis MISHELOVICH G.M., ASLANOV G.A., 1990. Multielectrods systems in fishins with electricity. In developments in Electric fishing (cowx I.G., Ed.) Proceedings of an International Symposium on Fishing with Electricity, Hull, UK, 1988 Oxford : Fishing News Books Blackwell Scientific Publications.
- 77 MONAN G., SMITH J., LISCOM K., JOHNSON J., 1970. Evaluation of upstream passage of adult salmonids through the navigation lock at Bonneville dam during the summer of 1969. 4th Progress Rep. on Fish. Eng. Res. Prog. 1966-1972, U.S. Army Corps of Eng., North Pacific Div., 104-113.
- 78 MONK B., WEAVER D., THOMPSON C., OSSIANDER F., 1989. Effects of flow and weir design on the passage behavior of american shad and salmonids in an experimental fish ladder. *N. Am. J. Fish. Man.*, 9 : 60-67.
- 79 MONTEN E., 1985. Fish and turbines. Fish injuries during passage through power station turbines. Vattenfall, Stockholm, 111 p.
- 80 MONTREAL ENGINEERING COMPANY, 1981. Fish mortality as a function of the hydraulic properties of turbines. *Can. Electr. Assoc., Res. and Dev., Rep. G-144*, 75 p.
- 81 NIETZEL D.A., CLUNET T.J., ABERNETHY C.S., 1990. Evaluation of rotary drum screens used to project juvenile salmonids in the Yakima river basin, Washington, USA. Proc. Int. Symp. on fishways, Gifu, Japan, 523-529.
- 82 PAVLOV D.S., 1989. Structures assisting the migrations of non-salmonids fish : USSR. *FAO Fish. Rome, Tech. Pap.* 308, 97 p.
- 83 PERKINS L.Z., 1973 . Fish ladders for lower monumental dam, Snake river, Washington ; hydraulic model investigations. U.S. Army Eng. Div., Corps of Eng., Rep. 109-1, 16 p.
- 84 PHILIPPE L., 1897. Rapport sur les échelles à poissons. Ministère de l'Agriculture, Commission des Améliorations Agricoles et Forestières, 27 p.

M

N

P

- R** POWERS P., OSBORN J., 1985. Analysis of barriers to upstream Fish Migration. Final Project Report. U.S. Dept. of Energy, Bonneville Power Adm., Div. of Fish and Wildlife, Final Project Rep., 120 p. 85
- RAINEY W.S., 1990. Cylindrical drum screens designs for juvenile fish protection at two large diversions. Proc. Int. Symp. on fishways, Gifu, Japan, 143-150. 86
- RAJARATNAM N., KATOPODIS C., 1984. Hydraulic of Denil fishways. J. Hydr. Eng., 110 (9) : 1219-1233. 87
- RAJARATNAM N., KATOPODIS C., 1989. Hydraulics of culvert fishways II : slotted-weir culvert fishways. Can. J. Civ. Eng., 16 (3) : 375-383. 88
- RAJARATNAM N., KATOPODIS C., 1990. Hydraulics of culvert fishways III : weir baffle culvert fishways. Can. J. Civ. Eng., 17 (4) : 558-568. 89
- RAJARATNAM N., KATOPODIS C., 1990. Steeppass fishways. Dept. Civ. Eng., Univ. of Alberta, Tech. Rep., 29 p. 90
- RAJARATNAM N., KATOPODIS C., FLINT-PETERSEN L., 1987. Hydraulics of two-level Denil fishways. J. Hydr. Eng., 113 (5) : 670-674. 91
- RAJARATNAM N., KATOPODIS C., LODEWYK S., 1988. Hydraulics of offset baffle culvert fishways. Can. J. Civ. Eng., 15 (6) : 1043-1051. 92
- RAJARATNAM N., KATOPODIS C., VAN DER VINNE G., 1985. Mi-type backwater curves in Denil fishways. Can. Soc. Civ. Eng., Annual Conf., 141-156. 93
- RAJARATNAM N., VAN DE VINNE G., KATOPODIS C., 1986. Hydraulics of vertical slot fishways. J. Hydr. Eng., 112 : 909-927. 94
- RIDEOUT S., THORPE L., CAMERON L., 1985. Passage of american shad in an Ice Harbor style fish ladder after flow modifications. Symp. on small hydropower and fisheries, Aurora, Colorado, 251-256. 95
- RIGAUD C. FONTENELLE G., GASCUEL D., LEGAULTA., 1988. Le franchissement des ouvrages hydrauliques par les anguilles (*Anguilla anguilla*). Présentation des dispositifs installés en Europe. Les publications du Département d'halieutique 9, ENSA Rennes, 148 p. 96
- RIZZO B., 1968. Fish passage facilities design parameters for Connecticut river dams. Holyoke dam. Bureau of Sport Fisheries and Wildlife, Boston, Massachusetts, 40 p. 97
- RIZZO B., 1969. Fish passage facilities design parameters for Connecticut river dams. Turners Falls dam. Bureau of Sport Fisheries and Wildlife, Boston, Massachusetts, 32 p. 98
- RIZZO B., 1986. Fish passage design information. Fish passageways and diversion facilities course, Merrimack, New Hampshire, 26 p. 99
- ROGERS A., CANE A., 1979. Upstream passage of adult salmon through an unlit tunnel. Fish. Mgmt, 10 (2) : 87-92. 100
- RUGGLES C.P., 1980. A review of the downstream migration of atlantic salmon. Freshwater and Anadromous Div., Resource Branch Dept. of Fisheries and Oceans, Halifax, Nova Scotia, Can. Tech. Rep. of Fisheries and Aquatic Sci. 952, 39 p. 101
- RUGGLES C.P., 1992. What's new in downstream fish passage ? 4th Int. Atlantic Salmon Symp. St Andrews, New Brunswick, Canada, 22 p. 102
- RUGGLES C.P., MURRAY D.G., 1983. A review of fish response to spillways. Freshwater and Anadromous Div., Resource Branch Dept. of Fisheries and Oceans, Halifax, Nova Scotia, Can. Tech. Rep. of Fisheries and Aquatic Sci. 1172, 30 p. 103

- 103 bis RUGGLES C.P., RYAN P., 1964. An investigation of louvers as a method of guiding juvenile pacific salmon. *Can. Fish. Cult.* 33, 67 p.
- 104 SAUNDERS P.W., 1992. Downstream migration of atlantic salmon smolts at PSNH hydroelectric stations on the Merrimack and Pemigewasset rivers. *Envir. Dept., Public Serv. Comp. of New Hampshire, Manchester*, 80 p.
- 105 SAYRE W.W., ALBERTSON M.L., 1961. Roughness spacing in rigid open channels. *J. Hydr. Div.*, 87 (HY3) : 121-150.
- 106 SCHWALME K., MCKAY W.C., 1985. Suitability of vertical slot and Denil fishways for passing north temperate, nonsalmonid fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42 : 1815-1822.
- 107 SLATICK E., 1970. Passage of adult salmon and trout through pipes. *U.S. Fish and Wildlife Serv. Spec. Sci. Rep. Fisheries* 92, 18 p.
- 108 SLATICK E., 1975. Laboratory evaluation of a Denil-type steep pass fishway with various entrance and exit conditions for passage of adult salmonids and american shad. *MFR Pap.* 1158, 17-26.
- 109 SOLOMON D.J., 1982. Tracking fish with radio tags. *Symp. Zool. Soc. Lond.*, 49 : 95-105.
- 110 STATSKO A.B., PINCOCK D.G., 1977. Review of underwater biotelemetry with emphasis on ultrasonic techniques. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 34 : 1261-1285.
- 110 bis STERNIN V.G., NIKORONOV I.V., BUMEISTER Y.K., 1976. *Electrical Fishing*. Israel Prog. Scient. Trans. Jerusalem, 1 vol. 316 p.
- 110 ter STEWART P.A.M., 1990. Electric screens and guides. In "Fishing with electricity" (Ed. Cowx I.G. and Lamarque P.) Oxford : Fishing News Books, Blakekwell Scientific Publications Ltd.
- 111 STOLTE L.W., 1991. Anodromous fish restoration program, Merrimack river. *U.S. Fish and Wildlife Serv., Concord, New Hampshire, Annual Progress Rep.*, 19 p.
- 111 bis STRAKHOV V.A., 1965. Elektriceskij rybozagraditel tipa ERZU-1, ovo ustrojstvo. vybor i rasut parametrov. *Trudy Koordinat. sov. Gidrotekh.* 24, 67-60. (Un écran électrique de type ERZU-1, sa construction, sa sélectivité et les calculs des paramètres) *Trad. fr.* 1968, INRA St Pée sur Nivelle.
- 112 TAYLOR R.E., KYNARD B., 1985. Mortality of juvenile american shad and blueback herring passed through a low-head Kaplan Hydro-electric turbine. *Tran. Am. Fish. Soc.*, 114 : 430-435.
- 113 TRAVADE F., 1990. Monitoring techniques for fish passes recently used in France. *Proc. Int. Symp. on fishways, Gifu, Japan*, 119-126.
- 114 TRAVADE F., BOMASSI P., BACH J.M., BRUGEL C., STEINBACK P., LUQUET J.F., PUSTELNICK G., 1989. Use of radiotracking in France for recent studies concerning the EDF fishway program. *Hydroécol. Appl.*, 1/2 : 33-51.
- 115 TRAVADE F., LARINIER M., TRIVELLATO D., DARTIGUELONGUE J., 1992. Conception d'un ascenseur à poissons adapté à l'aloise (*Alosa alosa*) sur un grand cours d'eau : l'ascenseur à poissons de Golfech sur la Garonne. *Hydroécol. Appl.*, 4 (1) : 91-119.
- 116 WARDLE C.S., 1975. Limit of fish swimming speed. *Nature, London*, 225 : 725-727.
- 117 WARDLE C.S., 1980. Effects of temperature on the maximum swimming speed of fishes. pp. 519-531. In "Environmental Physiology of Fishes", Plenum Press (Ed), New York and London, 723 p.

S

T

W

- WATTS F.J., 1974. Design of culvert fishways. Dept. Civ. Eng., Univ. of Idaho, USA, 62 p. 118
- WEAVER C.R., 1965. Observations on the swimming ability of adult american shad (*Alosa sapidissima*). Trans. Am. Fish. Soc., 94 (4) : 382-385. 119
- WEBB P.W., 1975. Hydrodynamics and energetics of fish propulsion. Bull. Fish. Res. Bd. Can., 190, 158 p. 120
- WHITE C. M., NEMENYI P., 1942. Report on hydraulic research on fish passes, in "Report of the Committee of fish passes". Inst. Civ. Eng., 59 p. 121
- WILLIAMS, J.G., 1990. Water velocity in relation to fish behavior in the design of screens for diversion of juvenile salmonids from turbines at hydroelectric dams on the Columbia river, USA. Proc. Int. Symp. on fishways, Gifu, Japan, 137-142. 122
- Z** ZHONG W.G., 1990. Model LD-1 electric fishing screen used in reservoir fisheries in China. In "Developments in Electric Fishing" (Cowx I.G., Ed.). Proceedings of an International Symposium on Fishing with Electricity, Hull, UK, 1988. Oxford : Fishing News Books, Blackwell Scientific Publications. 122 bis
- ZHOU Y., 1982. The swimming speed of fish in towed gears, a reexamination of the principles. Dpt. of Agriculture and Fisheries for Scotland, Work. Pap. 4, 55 p. 123
- ZIEMER G.L., 1961. Fish transport in waterways. Alaska Dept. of Fish and Game, 10 p. 124
- ZIEMER G.L., 1962. Steeppass fishway development. Alaska Dept. of Fish and Game, Informational leaflet 12, 9 p. 125

**A1****PASSE À POISSONS À L'USINE DE BERGERAC**

(ville de Bergerac - 24)

**Caractéristiques de l'aménagement et hydrologie**

Cours d'eau :	Dordogne
Module :	265 m <sup>3</sup> /s
Etiage (DCE 355) :	30 m <sup>3</sup> /s
Rôle du barrage :	hydroélectricité
Débit d'équipement :	57 m <sup>3</sup> /s
Cote NGF du plan d'eau amont :	18.32
Cote NGF du niveau d'eau aval :	14.35 (étiage)
Chute maximale :	3.97 m environ
Variation du niveau	amont : 2 m environ
	aval : 4 m environ

**Type de passe : passe à bassins à deux fentes verticales**

Dénivellation entre bassins :	0.30 m
Nombre de chutes :	14
Dimensions des bassins courants :	6.00 m x 4.15 m
Largeur des fentes :	2 x 0.55 m
Tirant d'eau moyen (étiage) :	1.80 m
Débit passe :	de 2.2 m <sup>3</sup> /s (étiage) à 6.0 m <sup>3</sup> /s
Débit d'attrait :	variable de 0 m <sup>3</sup> /s (étiage) à 5.0 m <sup>3</sup> /s
Largeur entrée :	2.0 m
Largeur sorties :	2 x 1.30 m
Coût :	9000 KF (1984)

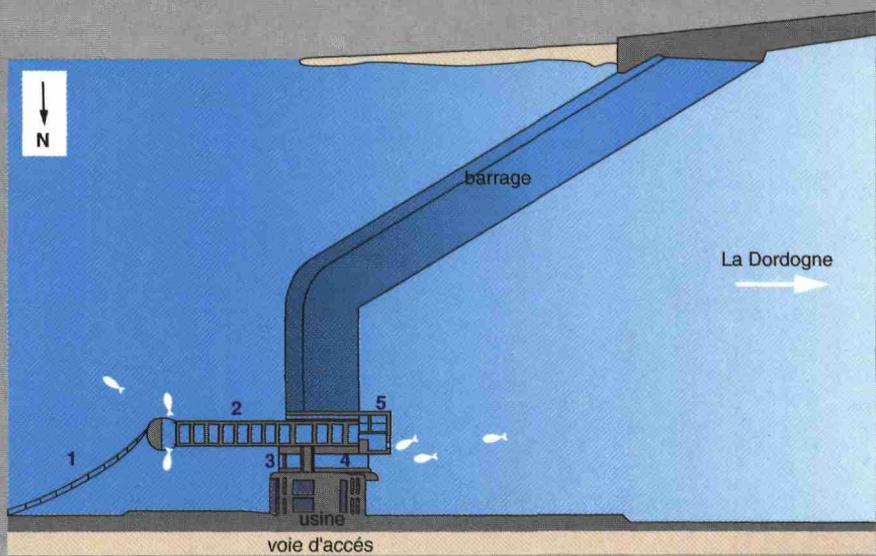
**Commentaires**

Le dispositif de franchissement est destiné aux grands migrateurs (saumon, alose, truite de mer, lamproie, anguille) ainsi qu'aux espèces holobiotiques. La passe à poissons est équipée d'un piège et d'une vitre de comptage dans sa partie aval.

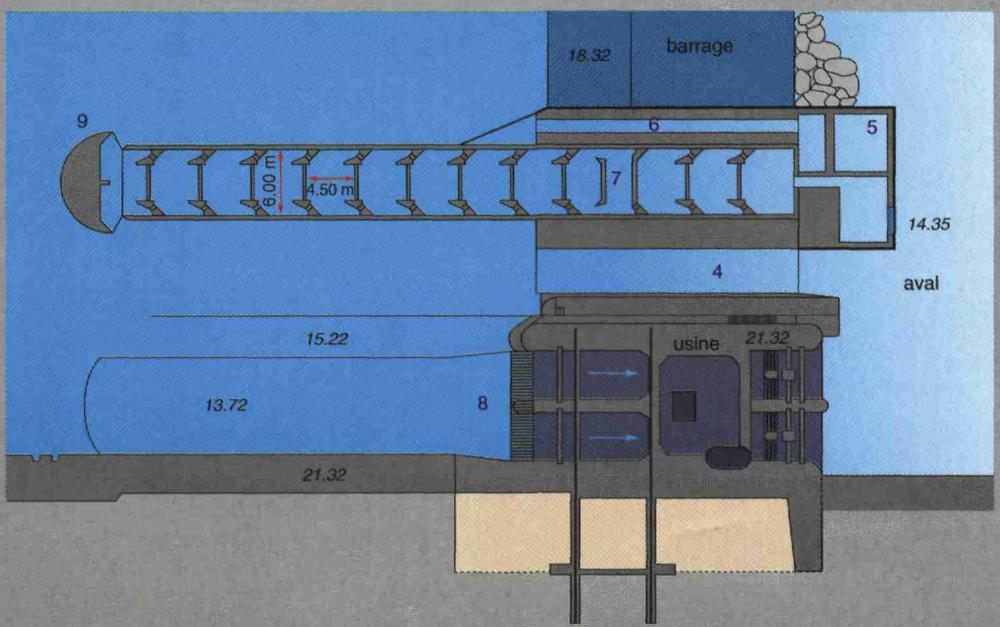
Lors de la mise en service en 1985, des opérations de piégeage ont été conduites entre le mois de mai et décembre : plus de 2000 aloses, 24 saumons, 51 truites de mer et plusieurs milliers d'individus d'autres espèces ont été capturés dans le piège. Le piège ne peut être cependant armé en période du pic de migration de l'aloise sans risque d'induire des mortalités notables sur cette espèce. Le dispositif est considéré comme très efficace pour l'aloise (plus de 8000 aloses ont été contrôlées à l'ascenseur de Tuilières situé à une quinzaine de kilomètres en amont de Bergerac).



A1



- 1 drome
- 2 passe à poissons
- 3 vanne clapet
- 4 canal de défeuillage
- 5 bassin d'injection du débit d'attrait
- 6 canal d'appoint
- 7 piège
- 8 grille de la prise d'eau
- 9 tête amont



**A2****PASSE À POISSONS À L'USINE DU RAMIER  
DU CHATEAU**

ville de Toulouse - 31

**Caractéristiques de l'aménagement et hydrologie**

Cours d'eau :	Garonne
Module :	190 m <sup>3</sup> /s
Etiage (DCE 355) :	25 m <sup>3</sup> /s
Rôle du barrage :	hydroélectricité
Longueur du canal d'amenée :	105 m
Débit d'équipement :	160 m <sup>3</sup> /s
Cote NGF du plan d'eau amont :	136.77
Cote NGF du niveau aval :	132.45
Chute maximale :	4.32 m environ
Variation du niveau	amont : 0.60 m
	aval : 1.80 m

**Type de passe : passe à bassins successifs à fentes verticales**

Dénivellation entre bassins :	0.285 m
Nombre de chutes :	15
Dimensions des bassins courants :	4.50 m (longueur)
	2.50 m (largeur)
Largeur des fentes :	0.50 m
Tirant d'eau moyen :	1.80 m
Débit passe :	1.2 m <sup>3</sup> /s
Débit d'attrait :	variable
	de 0.200 m <sup>3</sup> /s
	à plus de 1.0 m <sup>3</sup> /s
Largeur entrée :	1.20 m
Coût :	3700 KF (1987)

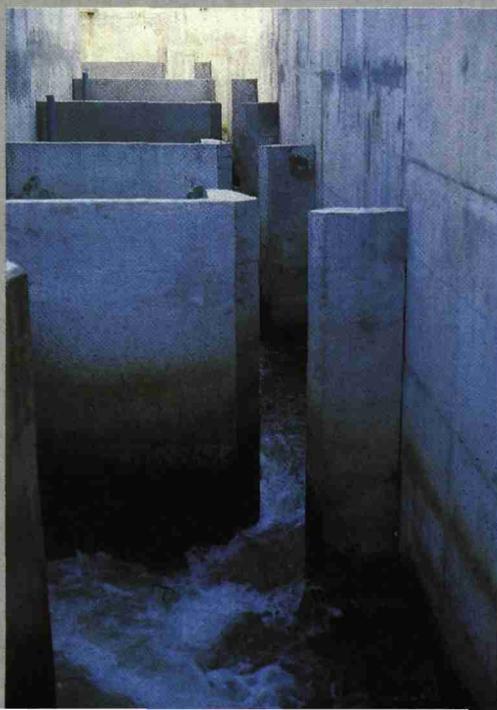
**Commentaires**

Les espèces concernées par l'aménagement sont les grands migrateurs présents dans la Garonne (alose, saumon, lamproie, truite de mer, anguille) ainsi que les espèces holobiotiques.

La passe à poissons est équipée d'un dispositif de piégeage permettant de contrôler la migration d'avalaison et de montaison.

Les opérations de suivi réalisées depuis la mise en service dénotent un bon fonctionnement et une bonne attractivité du dispositif, en particulier pour l'alose.

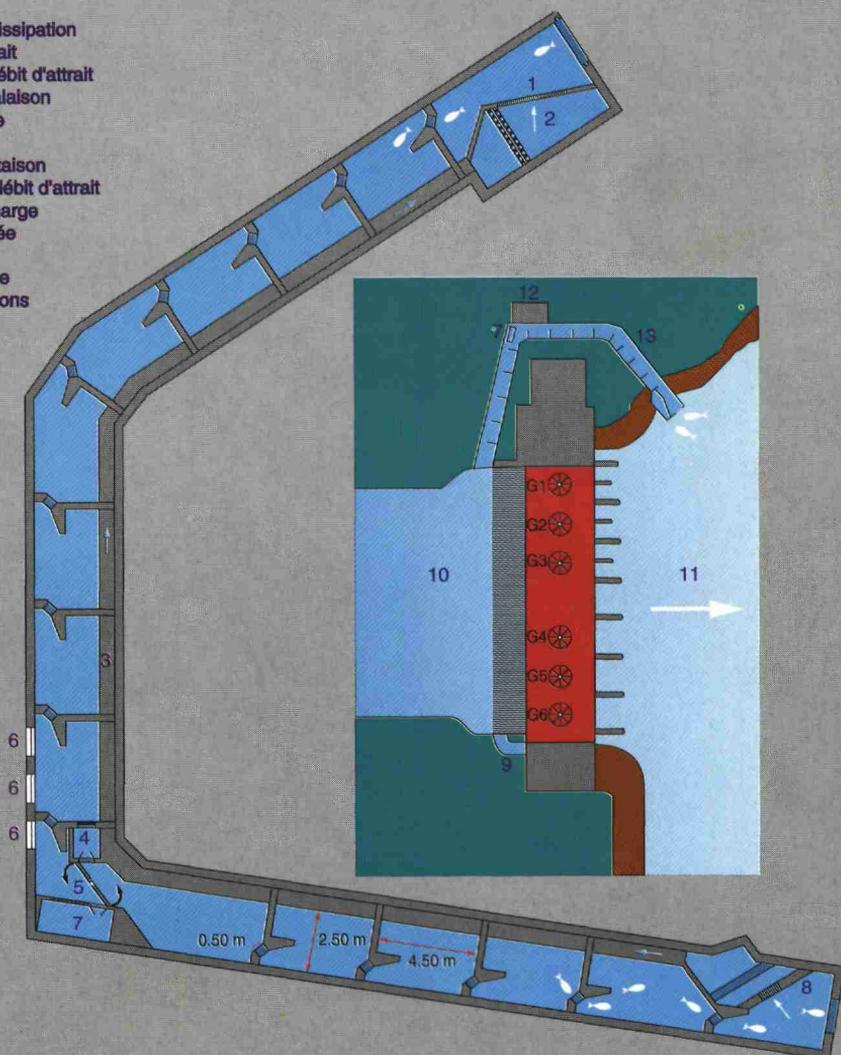
La sortie de la passe à poissons, située à proximité des grilles de la prise d'eau, permet d'attirer un faible pourcentage des poissons dévalants.



A2



- 1 grille
- 2 chambre de dissipation du débit d'attrait
- 3 conduite du débit d'attrait
- 4 piège de dévalaison
- 5 grille pivotante
- 6 vitre
- 7 piège d'amontaison
- 8 dégrilleur du débit d'attrait
- 9 canal de décharge
- 10 canal d'aménée
- 11 canal de fuite
- 12 local technique
- 13 passe à poissons



**A3****PASSE À POISSONS AU BARRAGE DE  
LIBARRENX**

Libarrenx - 64

**Caractéristiques de l'aménagement et hydrologie**

Cours d'eau :	Gave de Mauléon
Module :	27 m <sup>3</sup> /s
Etiage (DCE 355) :	3.8 m <sup>3</sup> /s
Débit réservé :	0.550 m <sup>3</sup> /s
Rôle du barrage :	hydroélectricité
Longueur de la dérivation :	300 m environ
Longueur de crête :	79 m
Débit d'équipement de l'usine :	7 m <sup>3</sup> /s
Cote NGF barrage :	149.08
Cote NGF étiage :	147.3
Chute maximale :	1.80 m environ
Variation des niveaux amont et aval (entre étiage et 80 m <sup>3</sup> /s) :	0.80 m environ

**Type de passe : bassins successifs à échancrure latérale et à orifice noyé**

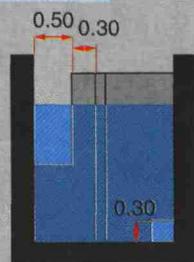
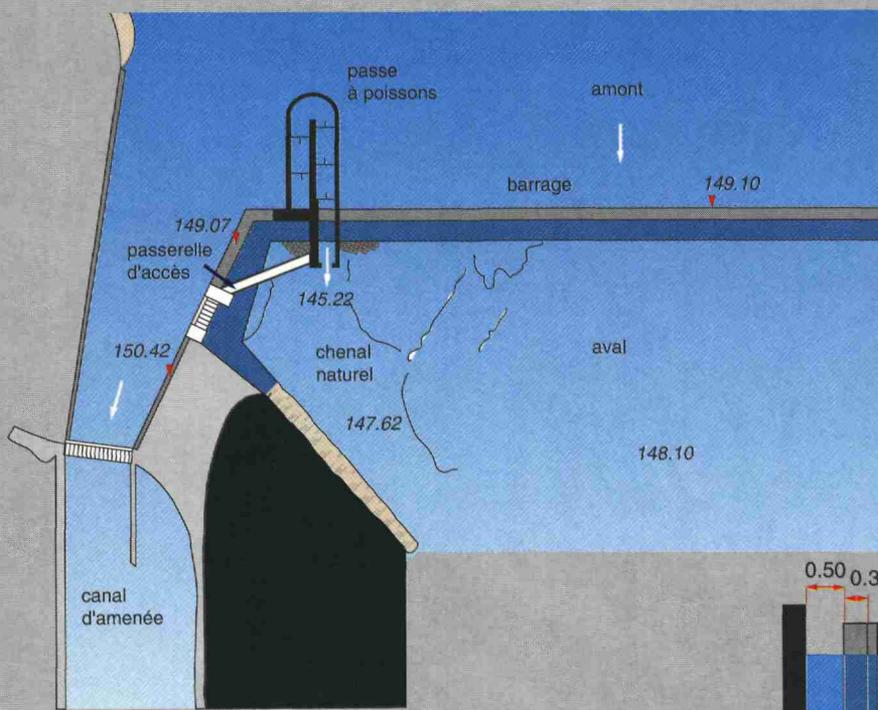
Dénivellation entre bassins :	0.30 m
Nombre de chutes :	6
Dimensions des bassins courants :	3 m (longueur) 1.8 m (largeur)
Largeur des échancrures :	0.50 m
Charge sur échancrure (étiage) :	0.60 m
Dimensions des orifices :	0.30 m x 0.30 m
Tirant d'eau moyen (étiage) :	1.50 m
Débit :	de 0.5 m <sup>3</sup> /s (étiage) à 1.1 m <sup>3</sup> /s
Puissance dissipée :	de 170 watts/m <sup>3</sup> (étiage) à 260 watts/m <sup>3</sup>
Largeur entrée :	0.70 m calée à 146.80
Largeur sortie :	1.20 m calée à 148.00
Coût :	350 KF (1986)

**Commentaires**

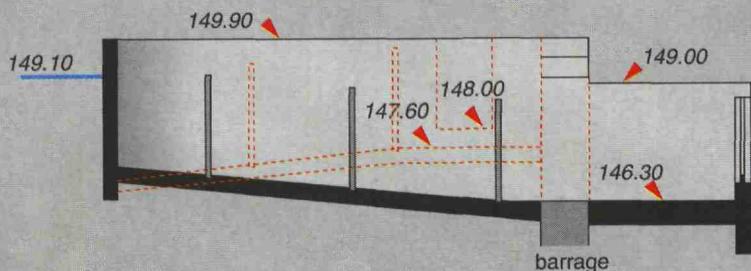
L'entrée de la passe a été implantée dans le chenal principal d'écoulement à l'aval, à quelques mètres (environ 3.5 m) du pied du barrage. La passe a été repliée sur elle-même de façon à perturber le moins possible l'écoulement en amont en période de fortes eaux, la prise d'eau du canal d'amenée étant située à l'intérieur d'une courbe de la rivière. La tête amont arrondie de la passe et la situation latérale de la sortie réduisent les problèmes d'entretien.



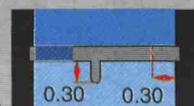
A3



Vue en coupe

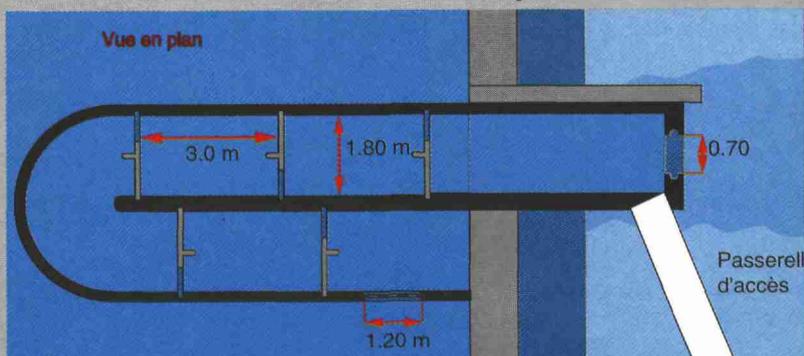


Détail d'une échancrure



(étiage)  
147.30

Vue en plan



**A4****PASSE À POISSONS AU BARRAGE  
DES CABANNES**

commune Les Cabannes - 09

**Caractéristiques de l'aménagement et hydrologie**

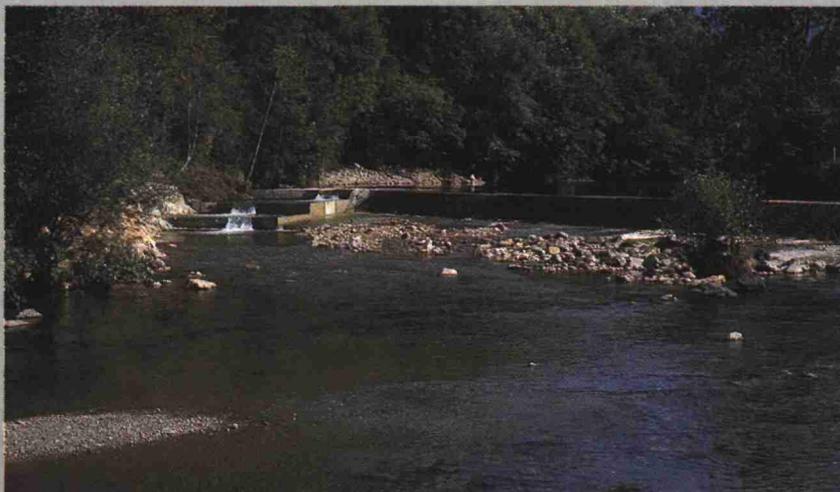
Cours d'eau :	Ariège
Module :	11.0 m <sup>3</sup> /s
Etiage :	1.7 m <sup>3</sup> /s
Débit réservé :	0.440 m <sup>3</sup> /s
	jusqu'au renouvellement de l'autorisation en 1994
Rôle du barrage :	hydroélectricité
Longueur de crête :	46 m
Débit d'équipement de l'usine :	12 m <sup>3</sup> /s
Cote NGF barrage :	537.59
Cote NGF plan d'eau aval (étiage) :	536.06
Chute maximale :	1.53 m
Variations des niveaux d'eau	amont : 0.50 m environ
	aval : 0.60 m environ

**Type de passe : prébarrages**

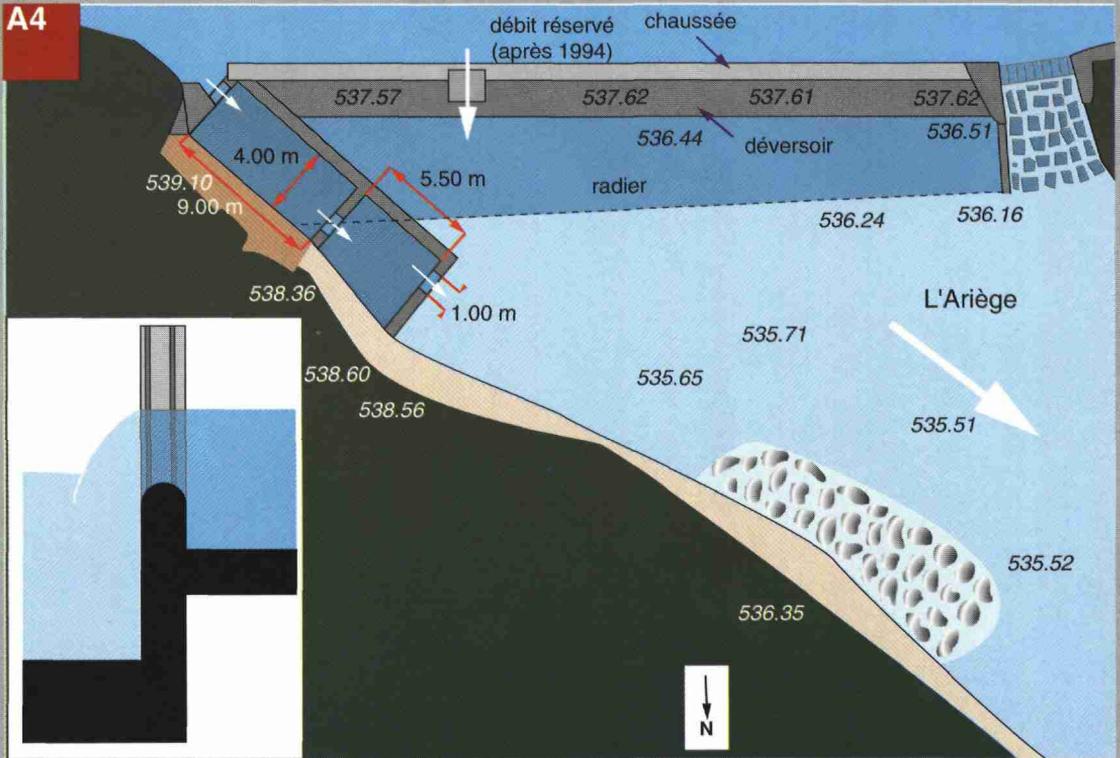
Dénivellation entre bassins :	0.50 m
Nombre de chutes :	3
Dimensions des bassins :	(4 m x 9 m) et (5 m x 5.5 m)
Largeur des échancrures :	1.0 m
Charge sur échancrure (étiage) :	0.40 m
Tirant d'eau moyen :	1.00 m
Débit (étiage) :	0.440 m <sup>3</sup> /s
	1.00 m <sup>3</sup> /s à partir de 1994.
Puissance dissipée :	60 watts/m <sup>3</sup> (étiage) à 150 watts/m <sup>3</sup> (45 m <sup>3</sup> /s)

**Commentaires**

Située dans l'angle amont du barrage et contre la rive droite, la passe a nécessité peu de travaux de génie civil. Le dispositif a été calé pour pouvoir fonctionner avec un débit de 1.0 m<sup>3</sup>/s lors du renouvellement de l'autorisation en 1994.

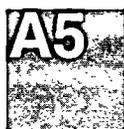


A4



Détail d'une échancrure





## PASSE À POISSONS AU BARRAGE DE LAS RIVES

communes de Varilhes et Saint-Jean de Verges - 09

### Caractéristiques de l'aménagement et hydrologie

Cours d'eau :	Ariège
Module interannuel :	45.5 m <sup>3</sup> /s
Débit d'étiage (DCE 355) :	15.2 m <sup>3</sup> /s
Débit réservé :	1.14 m <sup>3</sup> /s
Rôle du barrage :	hydroélectricité
Longueur de la dérivation :	500 m environ
Largeur de crête :	120.0 m
Débit d'équipement de l'usine :	25 m <sup>3</sup> /s
Cote NGF barrage :	333.50 m
Cote NGF aval :	329.30 m
Chute maximale :	4.20 m environ
Variation des niveaux amont et aval (entre l'étiage et 90 m <sup>3</sup> /s)	0.50 m en amont et 1.20 m en aval

### Type de passe :

**bassins successifs à échancrure latérale et à orifice noyé et prébarrage aval**

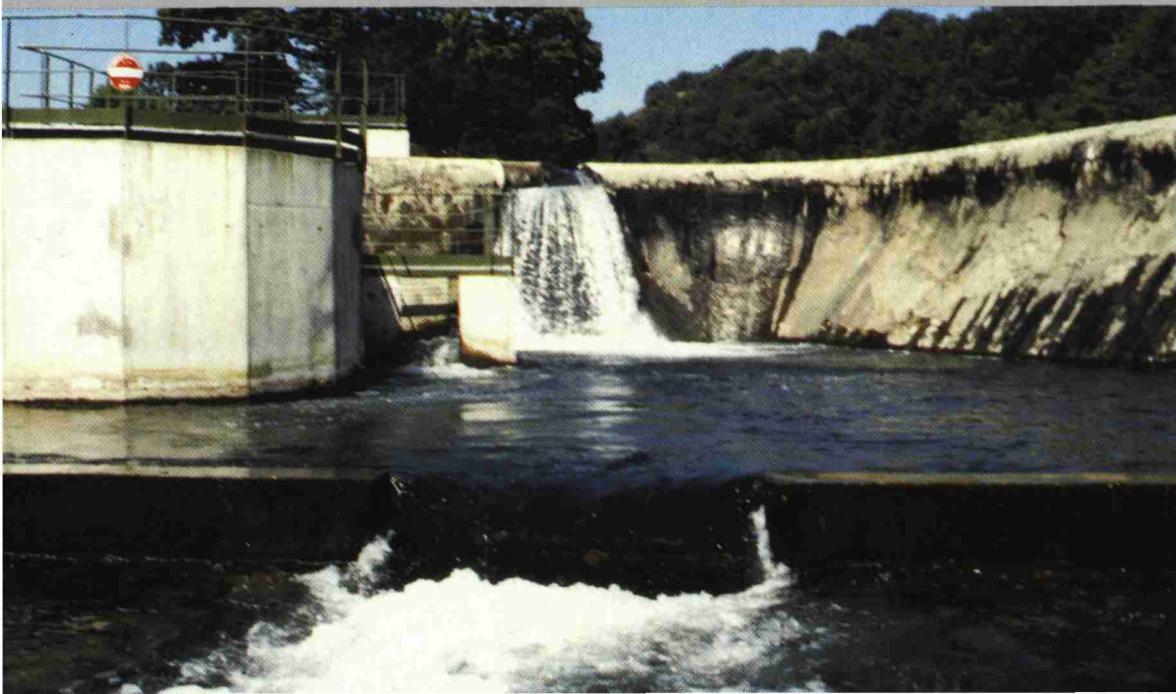
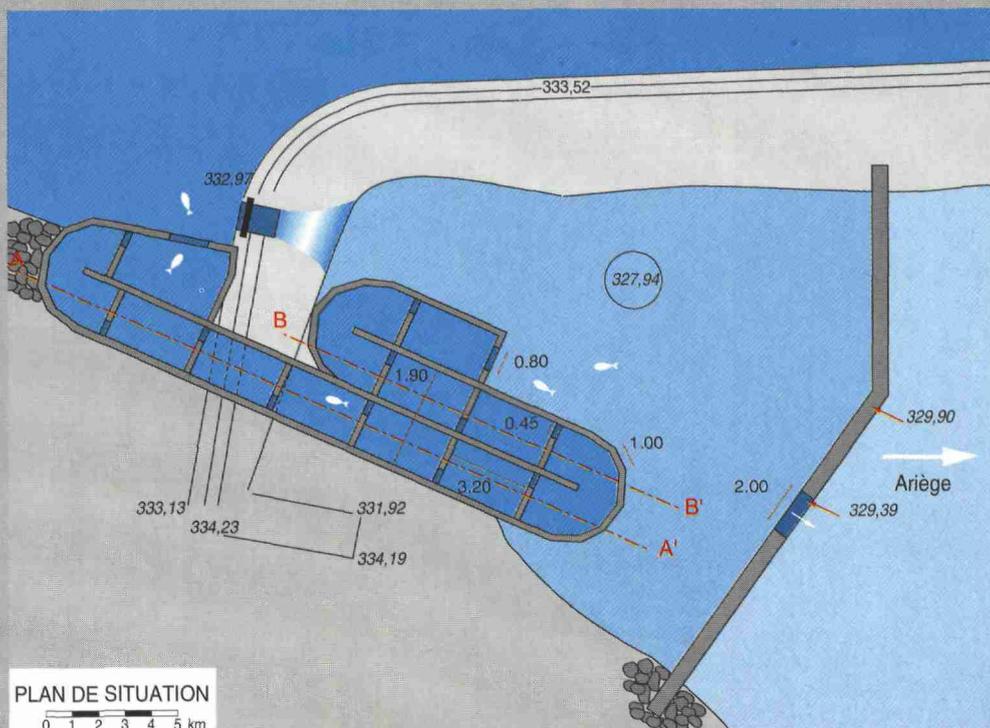
#### Bassins successifs

Dénivellation entre bassins :	0.30 m
Nombre de chutes :	12
Dimensions des bassins courants :	3.20 m (longueur) 1.90 m (largeur)
Largeur des échancrures :	0.45 m (sauf échancrure amont : 0.50 m)
Charge sur échancrure courante (étiage) :	0.70 m
Dimensions des orifices :	0.30 m x 0.30 m (sauf paroi amont sans orifice)
Tirant d'eau moyen :	1.45 m
Débit :	de 0.5 m <sup>3</sup> /s (étiage) à 0.82 m <sup>3</sup> /s
Puissance dissipée :	170 watts/m <sup>3</sup> (étiage) à 210 watts/m <sup>3</sup>
Largeur entrée (aval) :	0.80 m
Largeur sortie :	1.50 m

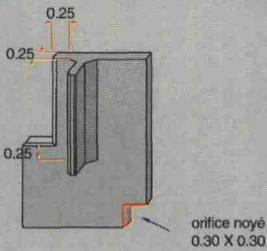
#### Prébarrage aval

Cote de l'échancrure :	329.39 NGF
Largeur de l'échancrure :	2.0 m
Chute en étiage :	0.60 m
Cote des murs latéraux :	329.90 m
Coût :	800 KF (1987)

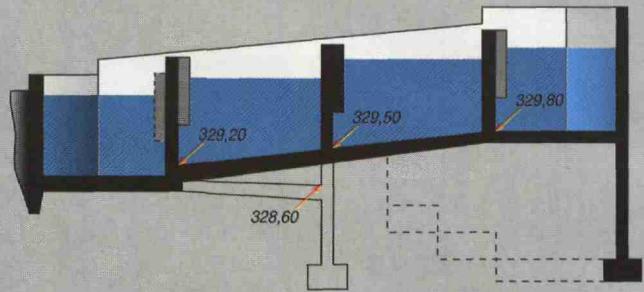
A5



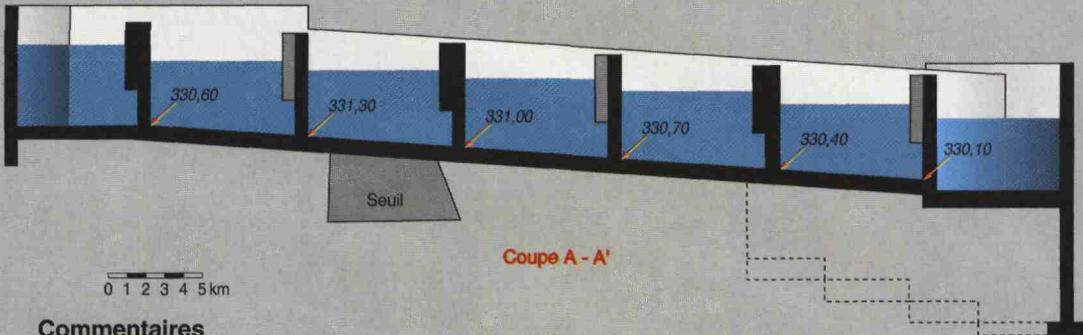
A5



Détail d'une cloison



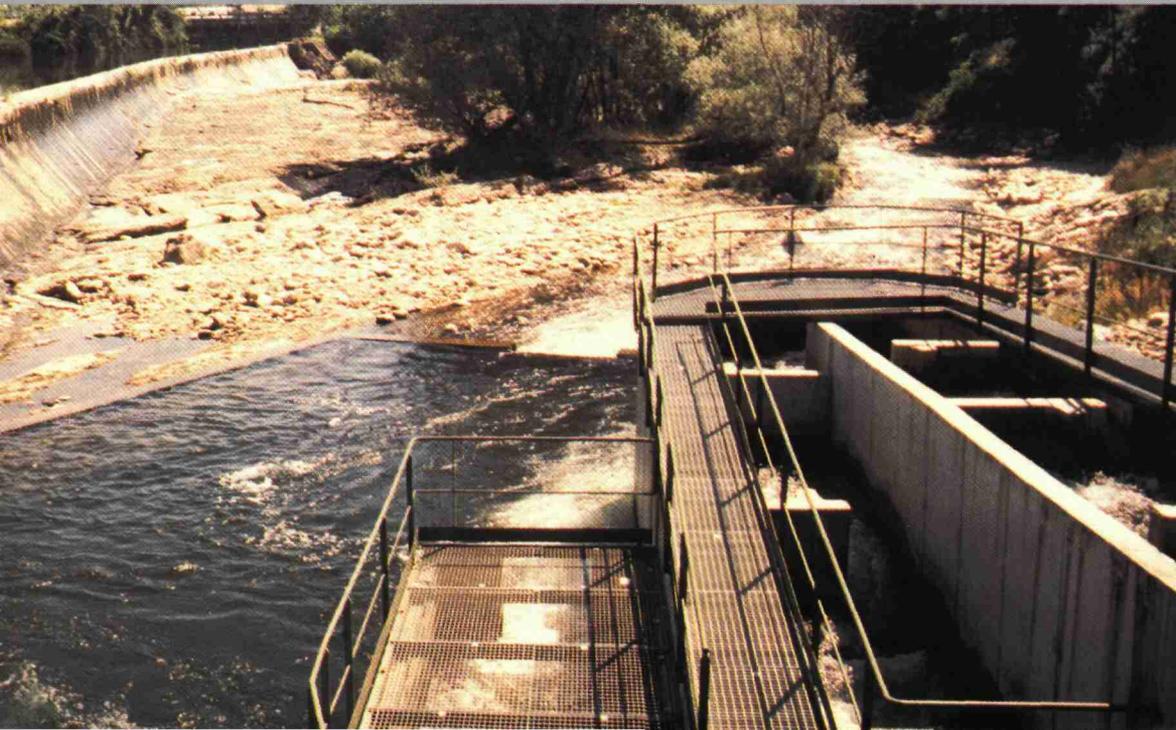
Coupe B - B'



Coupe A - A'

### Commentaires

La forme particulière de la passe, repliée sur elle-même, permet une bonne intégration du dispositif dans la pointe amont du barrage. Un prébarrage permet de rattraper la chute totale et de garantir un niveau minimum à l'entrée de la passe.





## PASSE À POISSONS AU BARRAGE DE TESSY SUR VIRE

Tessy Sur Vire - 50

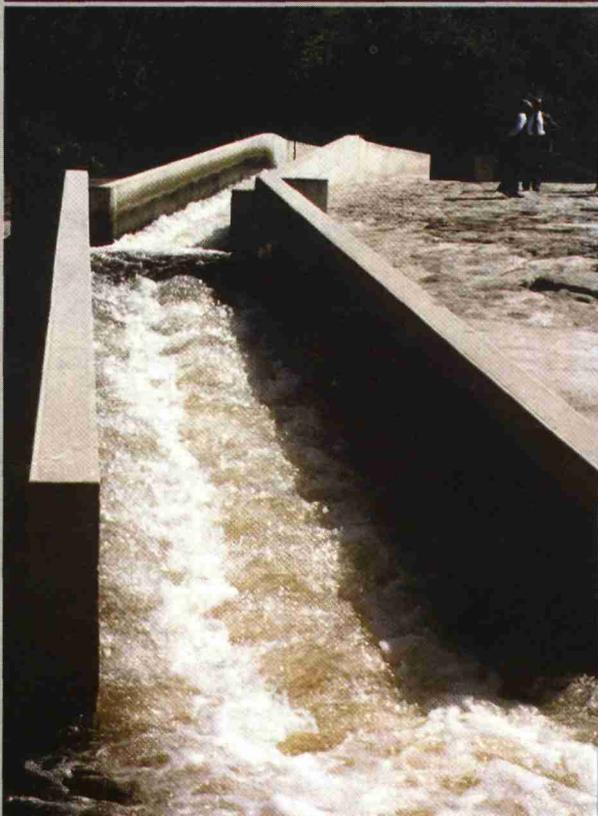
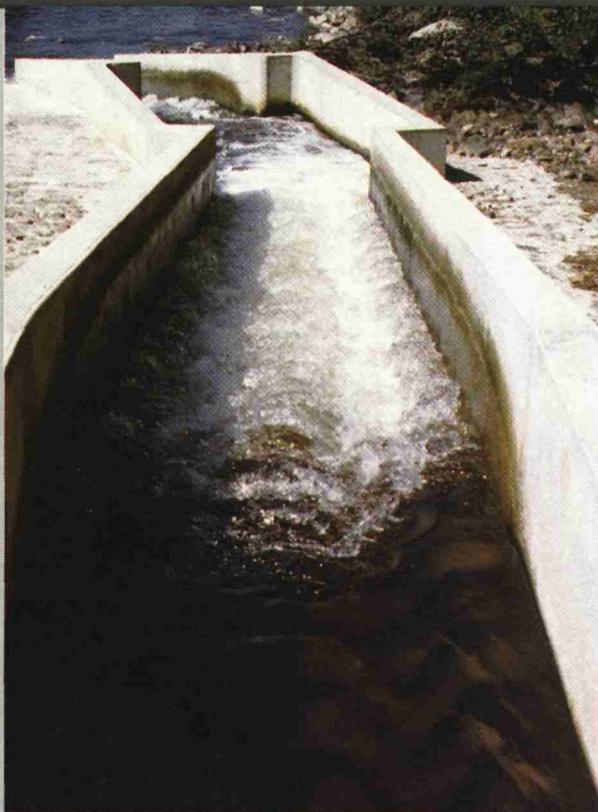
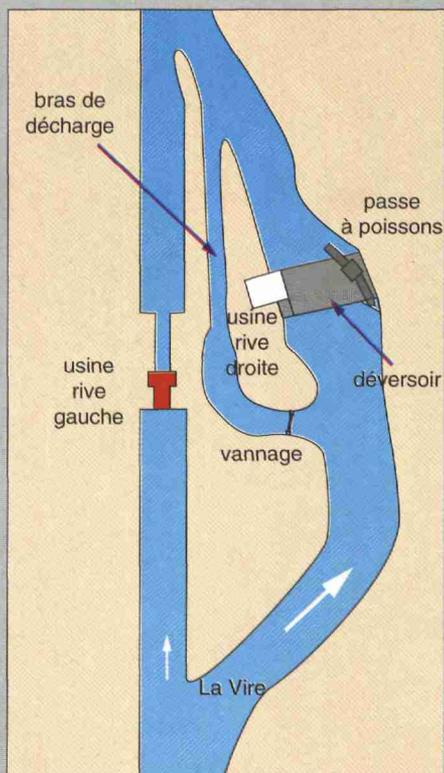
### Caractéristiques de l'aménagement et hydrologie

Cours d'eau :	Vire
Module :	9.0 m <sup>3</sup> /s
Débit réservé :	900 l/s
Rôle du barrage :	hydroélectricité
Longueur de la dérivation :	usine rive droite : néant usine rive gauche : 300 m
Longueur crête déversoir :	30 m
Débit d'équipement :	usine rive droite : 4+3 = 7 m <sup>3</sup> /s usine rive gauche : 6 m <sup>3</sup> /s
Cote NGF plan d'eau amont :	37.54
Cote NGF aval étiage :	34.54
Chute maximale :	3.00 m
Variation du niveau	amont : 0.25 m aval : environ 0.40 m pour Q = 20 m <sup>3</sup> /s

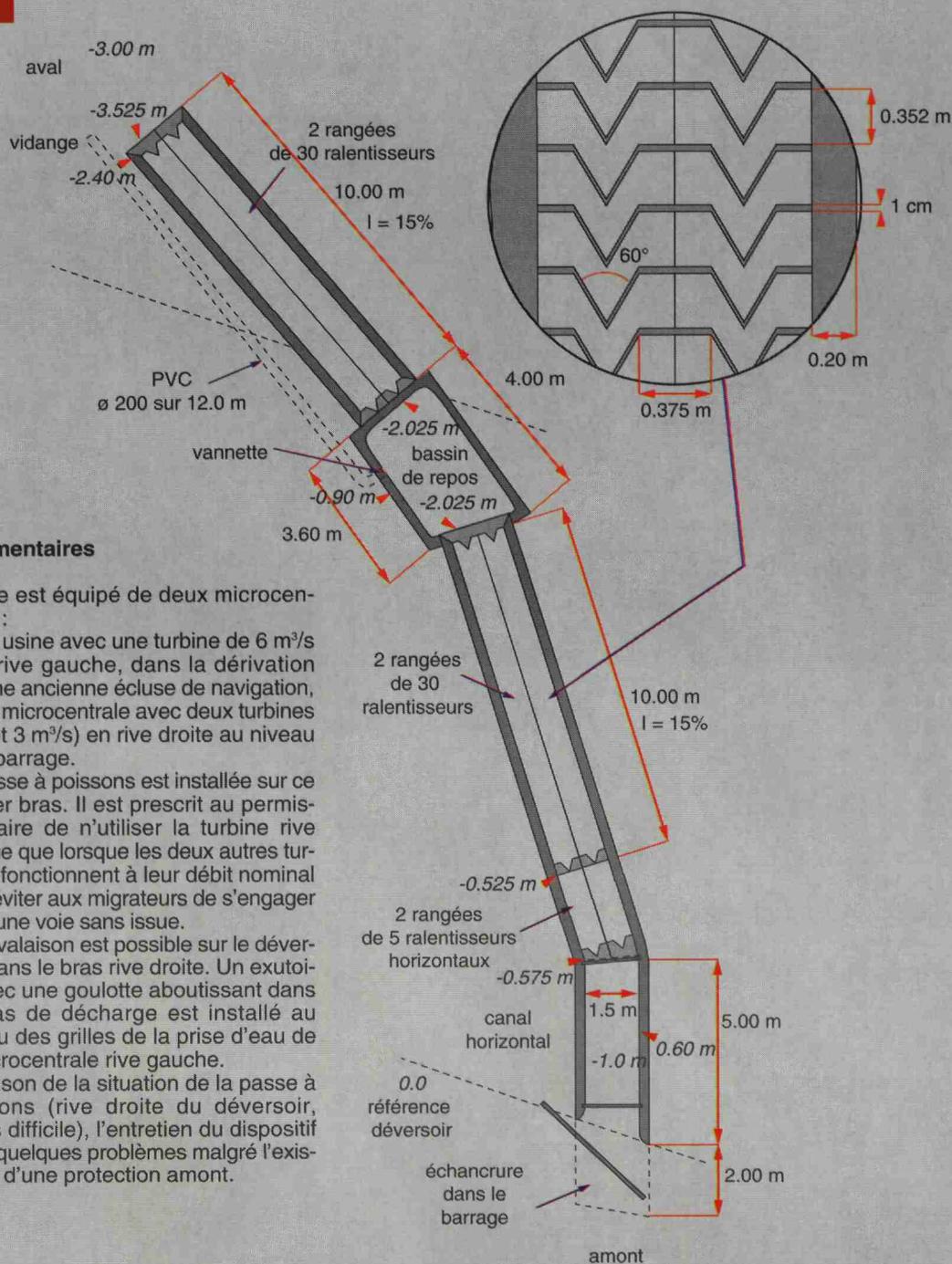
### Type de passe : ralentisseurs suractifs (2 volées avec bassin de repos)

Longueur des volées :	10 m
Pente du radier :	15 %
Largeur du canal :	1.50 m
Hauteur des ralentisseurs :	0.125 m
Dimensions du bassin de repos :	4 m x 2.40 m tirant d'eau à l'étiage : 1.50 m
Dénivelé rattrapé :	3 m (1.50 m par volée)
Débit d'alimentation à l'étiage :	600 l/s

A6



## A6



### Commentaires

Le site est équipé de deux microcentrales :

- une usine avec une turbine de  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  en rive gauche, dans la dérivation d'une ancienne écluse de navigation,
- une microcentrale avec deux turbines ( $4$  et  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ ) en rive droite au niveau du barrage.

La passe à poissons est installée sur ce dernier bras. Il est prescrit au permissionnaire de n'utiliser la turbine rive gauche que lorsque les deux autres turbines fonctionnent à leur débit nominal pour éviter aux migrateurs de s'engager dans une voie sans issue.

La dévalaison est possible sur le déversoir dans le bras rive droite. Un exutoire avec une goulotte aboutissant dans le bras de décharge est installé au niveau des grilles de la prise d'eau de la microcentrale rive gauche.

En raison de la situation de la passe à poissons (rive droite du déversoir, accès difficile), l'entretien du dispositif pose quelques problèmes malgré l'existence d'une protection amont.

**A7**

## PASSE À POISSONS AU BARRAGE DE GOAS VILINIC

commune de Pontrioux - 22

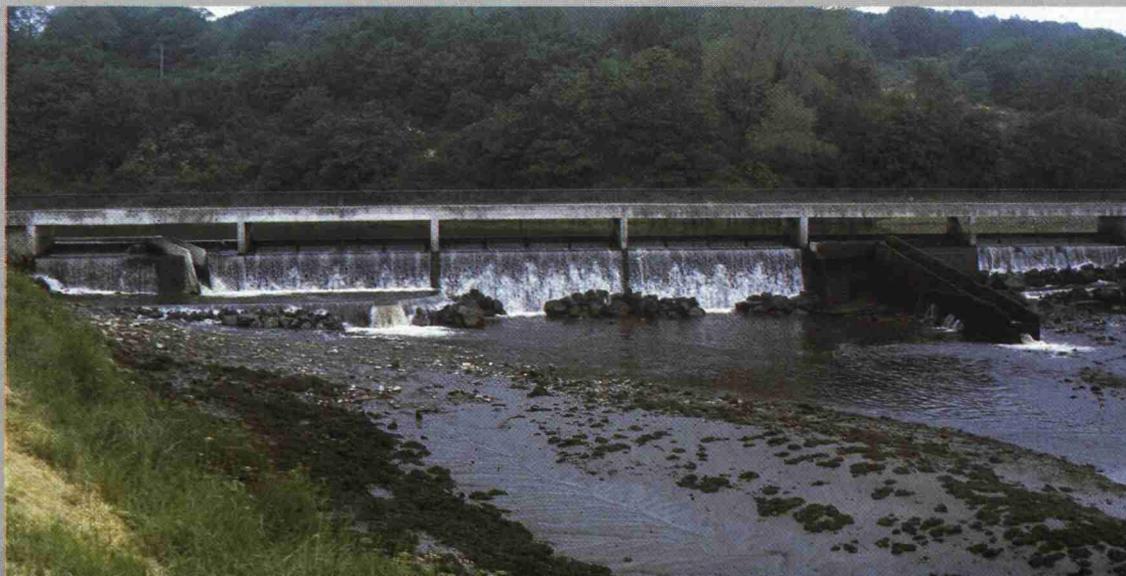
### Caractéristiques de l'aménagement et hydrologie

Cours d'eau :	Trieux
Module :	6.7 m <sup>3</sup> /s
Etiage (VCN 30 quinquennal) :	0.68 m <sup>3</sup> /s
Débit réservé : réglementation en cours, actuellement surplus non utilisé pour les éclusées.	navigation dans le port de Pontrioux
Rôle du barrage :	700 m
Longueur de la dérivation :	75 m,
Longueur de crête :	avec volets mobiles de h = 0.70 m sur toute la longueur
Cote NGF plan d'eau amont :	4.5
Cote NGF aval (soumis à la marée) :	0.50 minimum
Chute maximale :	4.00 m
Variation du niveau	amont : de 4.5 à 4.7 (régulation par volets mobiles)
	aval : de 0.50 à 4.5 suivant la marée

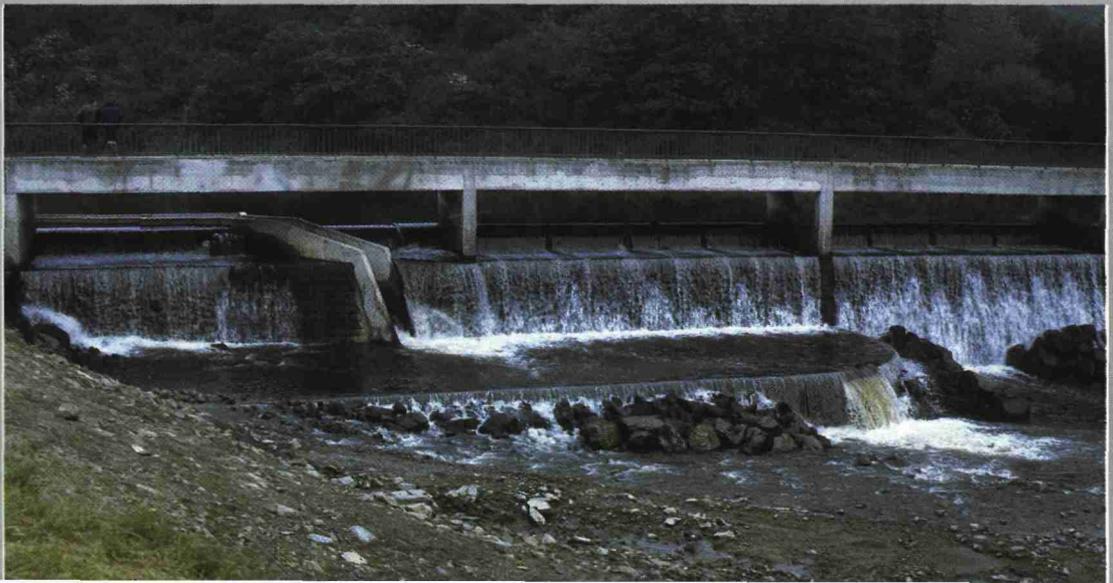
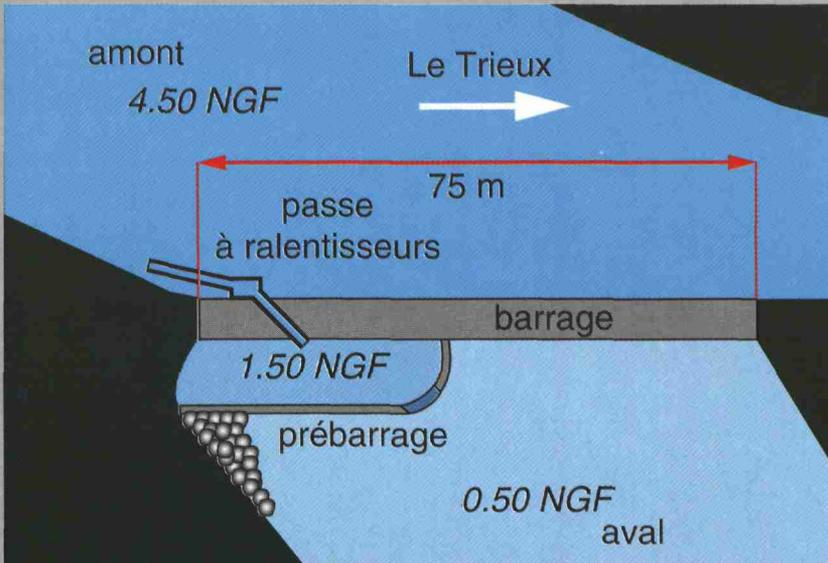
### Type de passe :

#### ralentisseurs plans (2 volées avec bassin de repos) et prébarrage aval

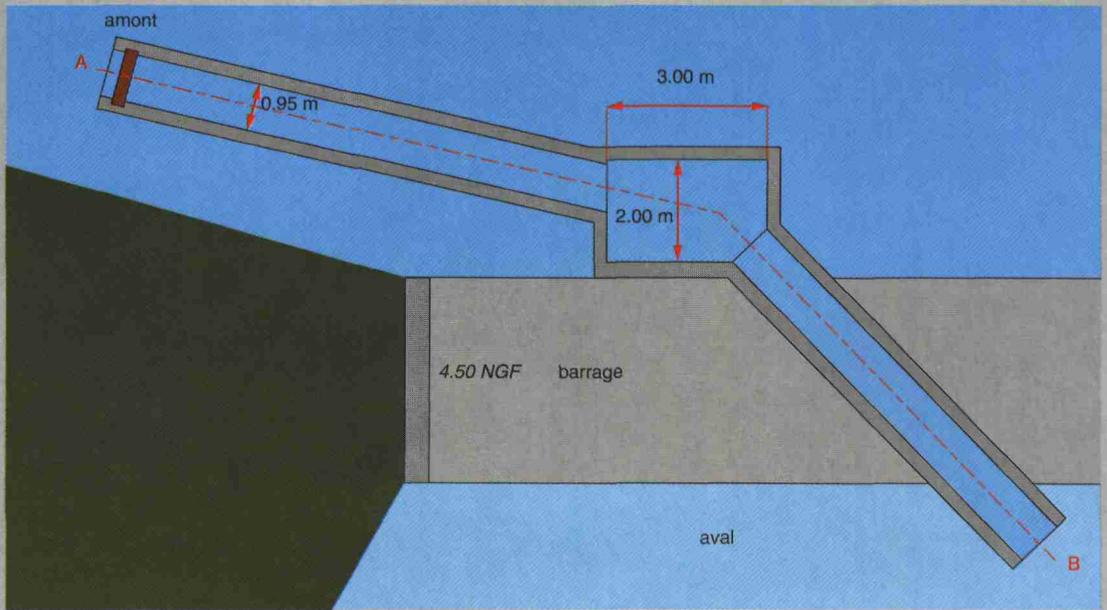
Longueur des volées :	7.50 m environ
Largeur du canal :	0.95 m
Pente du radier :	20%
Débit de calage :	0.350 m <sup>3</sup> /s
Dimensions du bassin de repos :	L=3 m l = 2 m tirant d'eau > 1.50 m
Dénivelé rattrapé par chaque volée :	1.50 m environ
Dénivelé restant au niveau du prébarrage :	1.00 m



A7



A7



### Commentaires

Les espèces concernées par l'aménagement sont le saumon et la truite de mer.

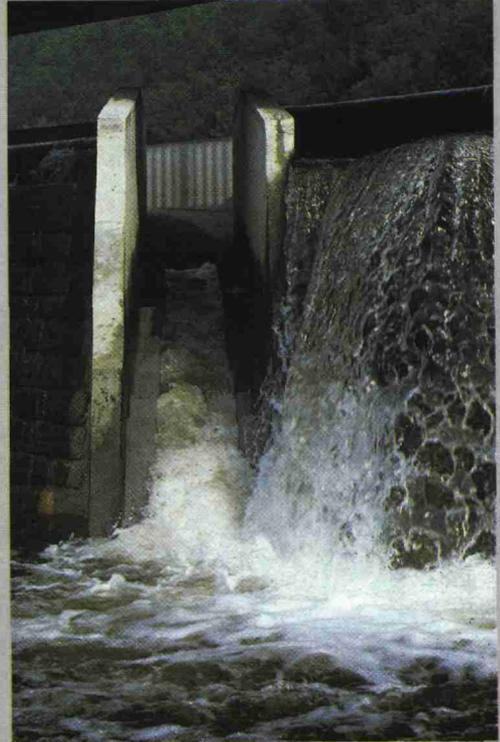
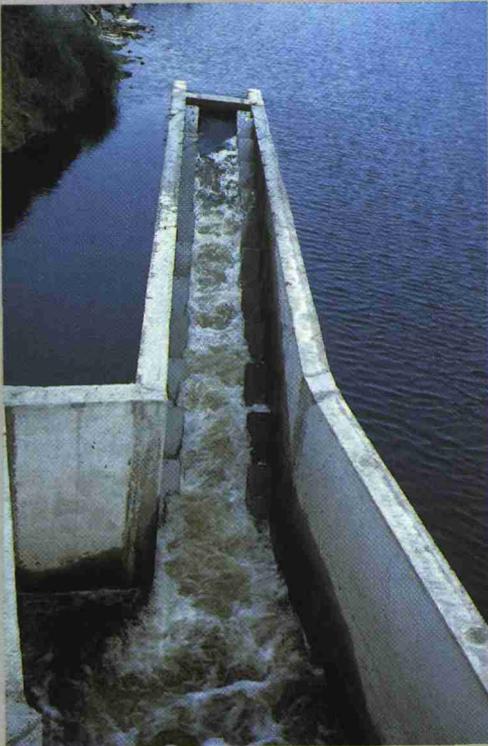
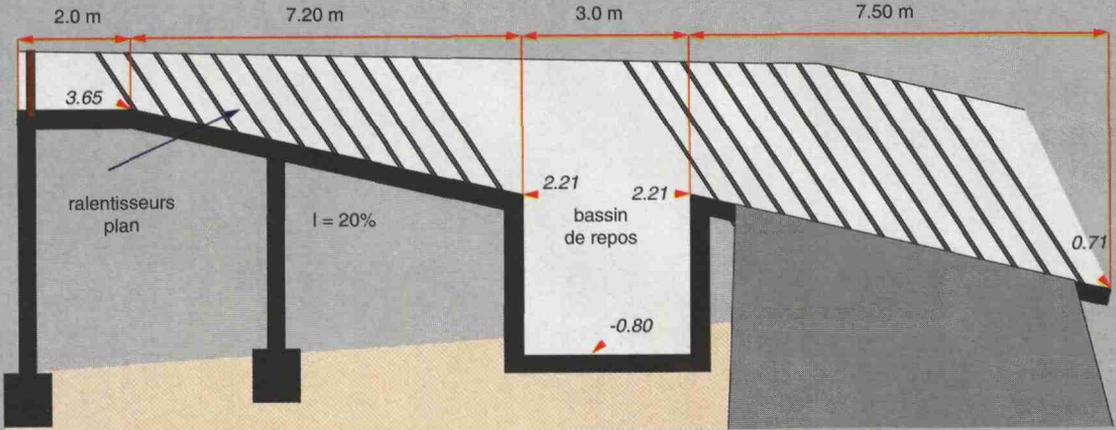
Le dispositif de franchissement a été construit principalement en amont du barrage de telle sorte que l'entrée pour le poisson soit située au pied même du déversoir, dans l'angle aigu amont (rive droite).

Un prébarrage maintient un niveau d'eau constant au pied de la volée aval à marée basse. La chute maximale au niveau du prébarrage est de 1.20 m. Elle diminue rapidement dès le début de la marée montante.

Le volet mobile situé en rive droite est manoeuvré en priorité pour renforcer l'attractivité de la passe à poissons et favoriser la dévalaison des smolts dans cette zone (chute dans le matelas d'eau constitué par le prébarrage).

A7

## Coupe A - B



## A8

## PASSE À POISSONS AU BARRAGE DE CASCADEC

commune de Scaër - 56

### Caractéristiques de l'aménagement et hydrologie

Cours d'eau :	Isole
Module :	2.1 m <sup>3</sup> /s
Etiage (VCN 30 fréquence quinquennale) :	0.26 m <sup>3</sup> /s
Débit réservé :	réglementairement, 1/40 <sup>ème</sup> du module. En fait, la quasi totalité du débit est disponible à l'exception d'une prise d'eau par pompage. microcentrale désaffectée.
Rôle du barrage :	Il subsiste une prise d'eau à usage industriel.
Longueur de la dérivation :	600 m
Longueur de crête :	20 m
Cote NGF plan d'eau amont :	132.00
Cote NGF plan d'eau aval :	129.60
Chute maximale :	2.40 m
Variation du niveau	amont : 0.35 m environ aval : 0.70 m environ pour Q=6.5 m <sup>3</sup> /s

### Type de passe : ralentisseurs plans et prébarrage aval

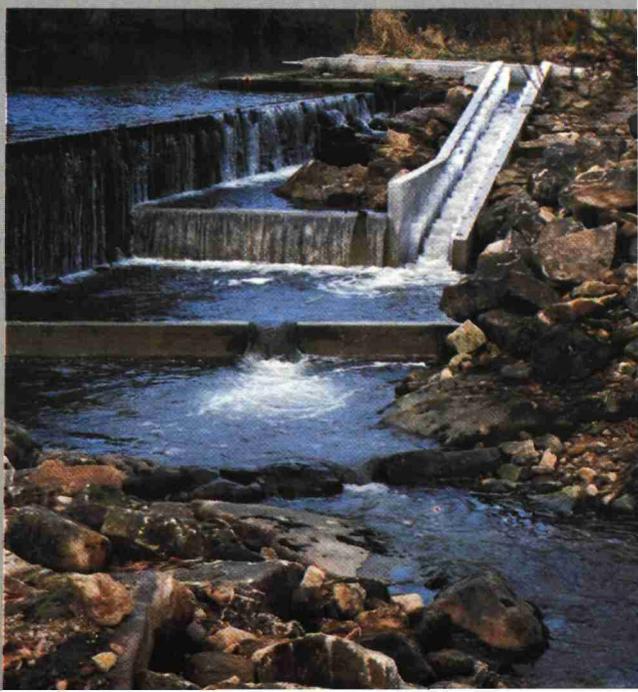
Longueur de la volée :	10 m
Largeur du canal :	0.80 m
Pente du radier :	20%
Débit de calage :	0.200 m <sup>3</sup> /s
Dénivelé rattrapé par la section à ralentisseurs :	2 m
Dénivelé restant au niveau du prébarrage :	0.40 m

### Commentaires

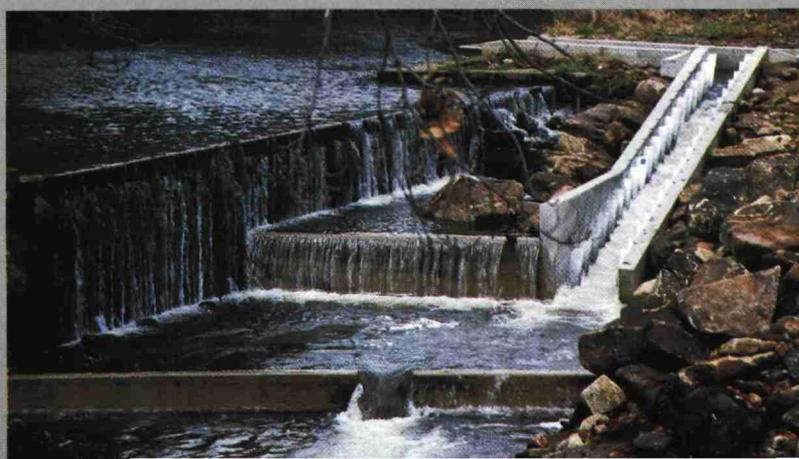
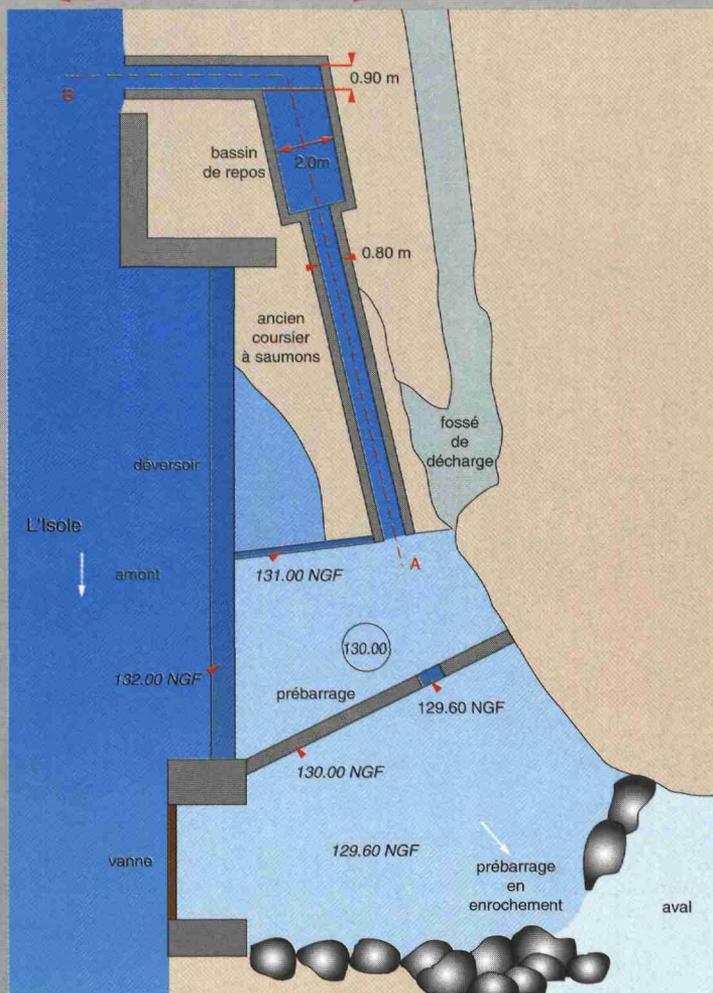
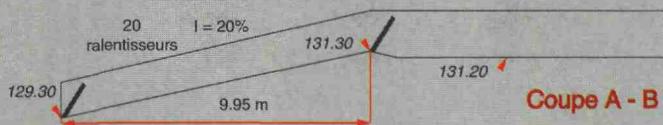
La passe à ralentisseurs est positionnée dans l'angle aigu amont du barrage. L'alimentation en eau est assurée par un canal horizontal raccordé perpendiculairement à l'écoulement pour diminuer les problèmes de colmatage par les corps dérivants. Un mur partant de l'entrée de la passe (pour les poissons) évite aux migrateurs de s'engager plus en amont.

La longueur de la volée de ralentisseurs étant limitée à 10 m (chute 2 m), le dénivelé restant (0.40 m) est rattrapé par un prébarrage qui offre en outre l'intérêt de constituer un matelas d'eau au pied du barrage pour la descente des smolts.

Les travaux ayant occasionné un léger abaissement du niveau aval, un deuxième prébarrage rustique a été réalisé avec des blocs d'enrochement.



A8





## PASSE À POISSONS AU BARRAGE DE MOULIN NEUF

commune de Saint Clet - 22

### Caractéristiques de l'aménagement et hydrologie

Cours d'eau :	Trieux
Module :	6.2 m <sup>3</sup> /s
Etiage (VCN 30 quinquennal) :	0.64 m <sup>3</sup> /s
Débit réservé :	totalité du débit
Rôle du barrage :	résidence secondaire, barrage non utilisé
Longueur de la dérivation :	50 m
Longueur de la crête :	60 m
Cote NGF plan d'eau amont :	17.60
Cote NGF plan d'eau aval :	16.10
Chute maximale :	1.30 m
Variation du niveau	amont : 0.35 m environ pour Q = 20 m <sup>3</sup> /s
	aval : 0.70 m environ pour Q = 20 m <sup>3</sup> /s

### Type de passe : ralentisseurs de fond type chevrons épais

Longueur de la volée :	11 m
Largeur du canal :	1.44 m
	(pas de bandes sur les pointes de ralentisseurs)
Pente du radier :	12%
Hauteur des ralentisseurs :	0.12 m
Débit de calage :	0.500 m <sup>3</sup> /s

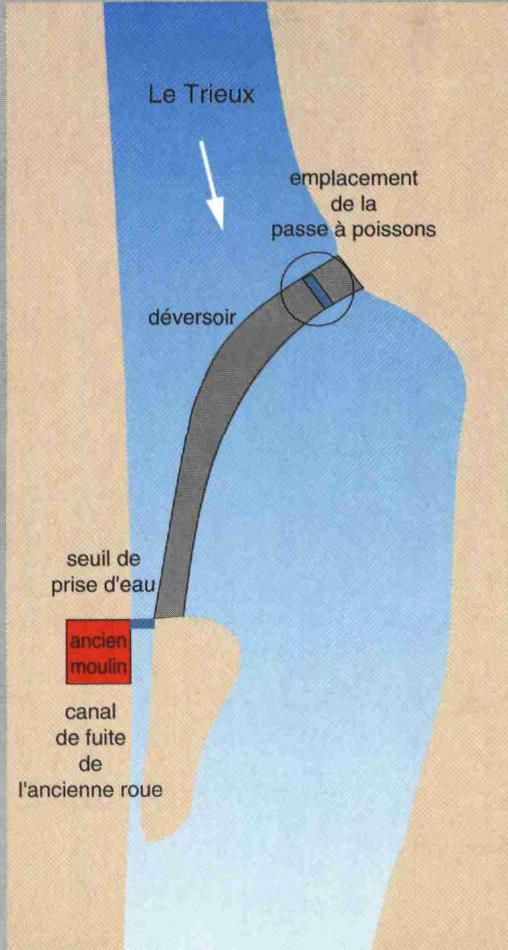
### Commentaires

L'équipement concerne un ancien barrage de moulin de faible dénivelé, mais posant des problèmes de franchissement en étiage en raison de la faible épaisseur de la lame d'eau sur un déversoir assez long.

La passe à ralentisseurs de type chevrons épais s'intègre bien au site (pas de dépassement à l'aval du déversoir). Un bon alignement avec la direction de l'écoulement sur le déversoir a permis de supprimer les murets latéraux. Un habillage en pierres maçonnées a été réalisé sur la partie apparente.

Le coût de la réalisation est de l'ordre de 35 000 F (1988) mais n'est pas représentatif car l'aménagement a été réalisé en colmatant une brèche existante lors de la réfection du déversoir, et seul le surcoût lié à la passe à été pris en compte (pas de frais de démolition, de batardage, etc.).

A9



**A10**

## ASCENSEUR À POISSONS AU BARRAGE DE KERNANSQUILLEC

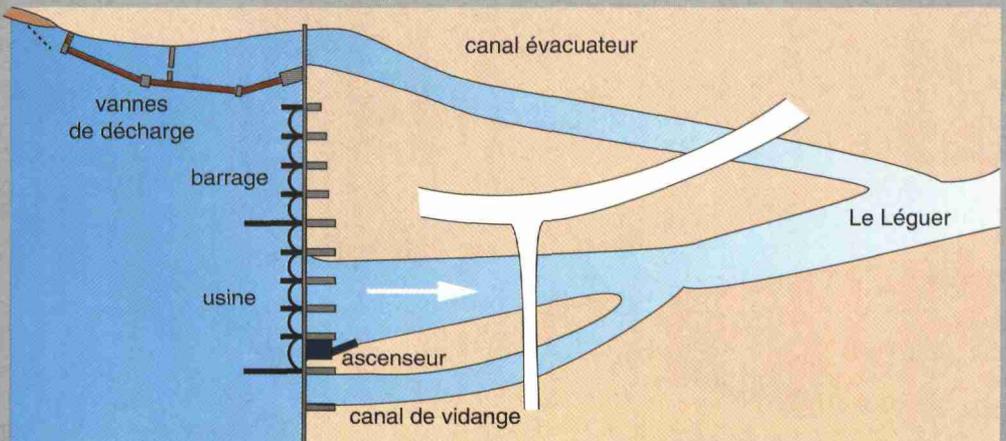
commune de Belle Isle En Terre - 22

### Caractéristiques de l'aménagement et hydrologie

Cours d'eau :	Léguer
Module :	5.2 m <sup>3</sup> /s
Etiage (VCN 30 quinquennal) :	0.57 m <sup>3</sup> /s
Débit réservé :	0.250 m <sup>3</sup> /s
Rôle du barrage :	hydroélectricité
Longueur de la dérivation :	90 m
Longueur crête déversoir :	29.90 m
Débit d'équipement :	3 turbines (5 m <sup>3</sup> /s, 2 m <sup>3</sup> /s et 1.8 m <sup>3</sup> /s)
Cote NGF plan d'eau amont :	80.19
Cote NGF aval étiage :	68.70
Chute maximale :	11.50 m environ
Variation du niveau	amont : 1 m environ
	aval : 1 m environ

### Type de passe : ascenseur avec accès par passe à ralentisseurs plans

Ascenseur	
Hauteur du levage :	15 m
Dimensions de la cage :	l = 1.20 m
	L = 2.20 m
	H = 2.00 m
Volume d'eau du bac :	0.500 m <sup>3</sup>
Passe à ralentisseurs plans	
Largeur du canal :	0.75 m
Pente :	20%
Longueur du radier :	4 m
Dénivelé rattrapé :	0.80 m
Débit d'alimentation :	0.250 m <sup>3</sup> /s
Coût :	génie civil : 130 KF (1989)
	ascenseur : 470 KF (1989)





A10



### Commentaires

Les espèces concernées par l'aménagement sont les salmonidés (saumon, truite de mer, truite). La passe à ralentisseurs plans débouche à proximité du rejet des turbines et présente une bonne attractivité pour les migrateurs. Elle donne accès à un bassin à niveau constant dans lequel est disposée la cage de l'ascenseur. On s'affranchit ainsi des variations de niveau aval, ce qui permet de diminuer la hauteur de la cage d'ascenseur. L'ensemble du dispositif est alimenté à partir du plan d'eau amont au moyen d'un siphon (0.25 m<sup>3</sup>/s).

## A11 PASSE À CIVELLES ET ANGUILLETTES AU BARRAGE DE LAVAU

Lavau - 44

### Caractéristiques de l'aménagement et hydrologie

Cours d'eau :	canal de la Taillée constituant l'un des quatre exutoires du marais du Brivet (16000 ha) en bordure de Loire.
Rôle du barrage :	contrôle du niveau d'eau dans les marais situés à l'amont de l'ouvrage.
Fonctionnement :	le barrage est utilisé soit en mode "évacuation" (ouverture partielle à marée basse) soit à certaines périodes de l'année pour admettre de l'eau en amont de l'ouvrage à marée haute.
Niveau amont :	variable
Variation niveau aval soumis à la marée :	mi-marée 0.60 plus haute mer connue 3.60

### Type de passe : rampe à civelles et à anguillettes

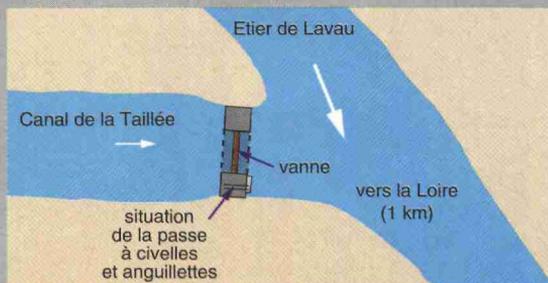
Largeur des rampes :	0.50 m
Pente des rampes :	1/1
Dénivelé maximal rattrapé :	2.50 m avec deux bassins de repos mixte (civelles/anguillettes)
Type de substrat :	
Débit de la pompe servant à l'irrigation et à l'attrait des migrateurs :	60 m <sup>3</sup> /h
Coût :	75 KF (1987)

### Commentaires

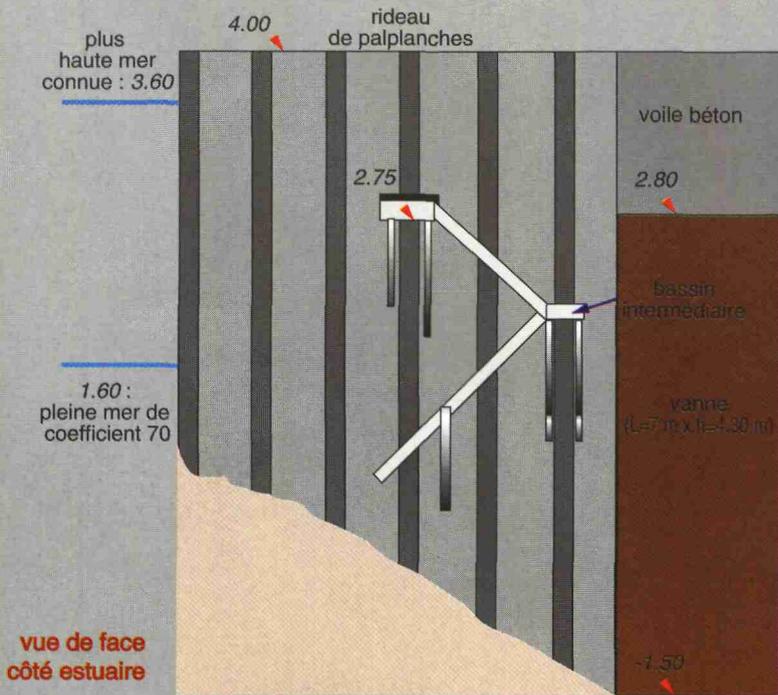
Pour s'affranchir des variations de niveau du plan d'eau amont, les migrateurs progressent jusqu'à une cote supérieure au niveau amont maximal et rejoignent la retenue en contrebas par l'intermédiaire d'une canalisation "by-pass".

On observe des problèmes de dépôts de sédiments fins (vase) dans les bassins de repos.

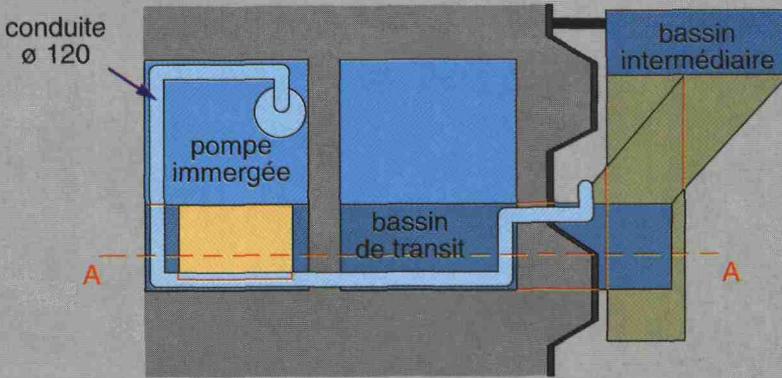
Le nombre de migrateurs empruntant le dispositif de franchissement semble corrélé positivement au débit sortant du barrage, qui permettrait d'attirer les civelles depuis le cours de la Loire, distant d'un kilomètre.



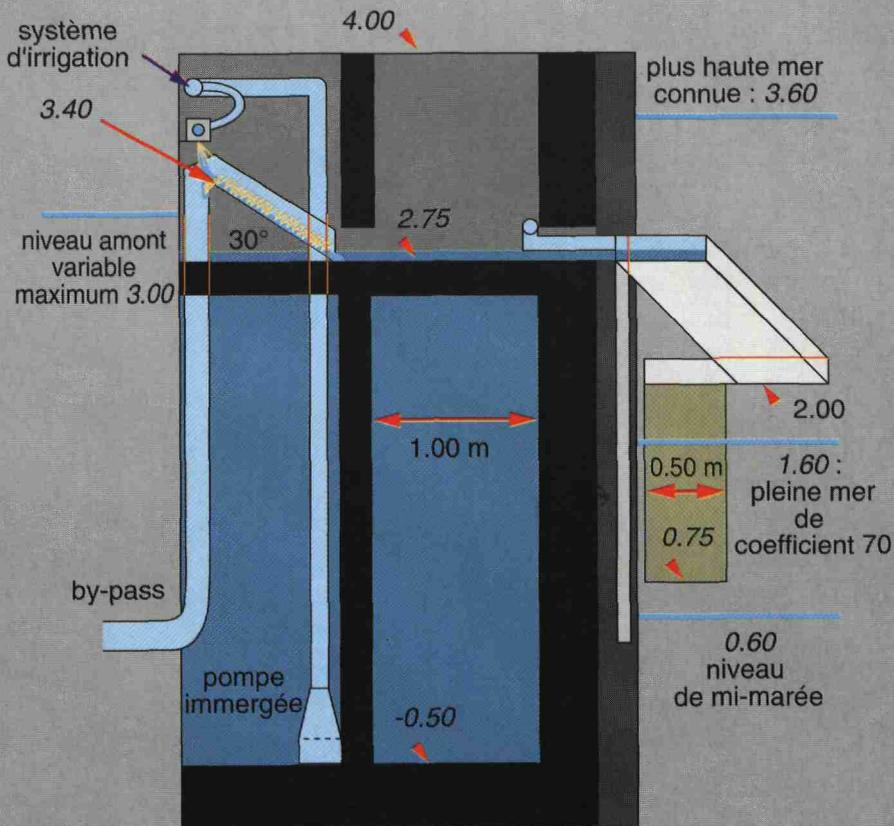
A11



**A11**



**vue de dessus**



**coupe A - A**

**A12**

## PASSE À CIVELLES ET ANGUILLETTES AU BARRAGE DU MOULIN D'IFFENDIC

commune d'Iffendic - 35

### Caractéristiques de l'aménagement et hydrologie

Cours d'eau :	Meu
Module :	2.0 m <sup>3</sup> /s
Débit réservé :	en théorie 1/40 <sup>ème</sup> du module en fait la totalité du débit est disponible
Rôle du barrage :	ancien moulin
Longueur de la dérivation :	30 m
Longueur crête du déversoir :	10.50 m
Débit d'équipement :	néant (barrage inutilisé pour la production hydraulique)
Cote NGF du plan d'eau amont :	38.35
Cote NGF aval étiage :	36.85
Chute maximale :	1.50 m
Variation du niveau	amont : 0.10 m (clapet réglable) aval : 0.50 m environ pour Q = 4 m <sup>3</sup> /s

### Type de passe : rampe à civelles et à anguillettes

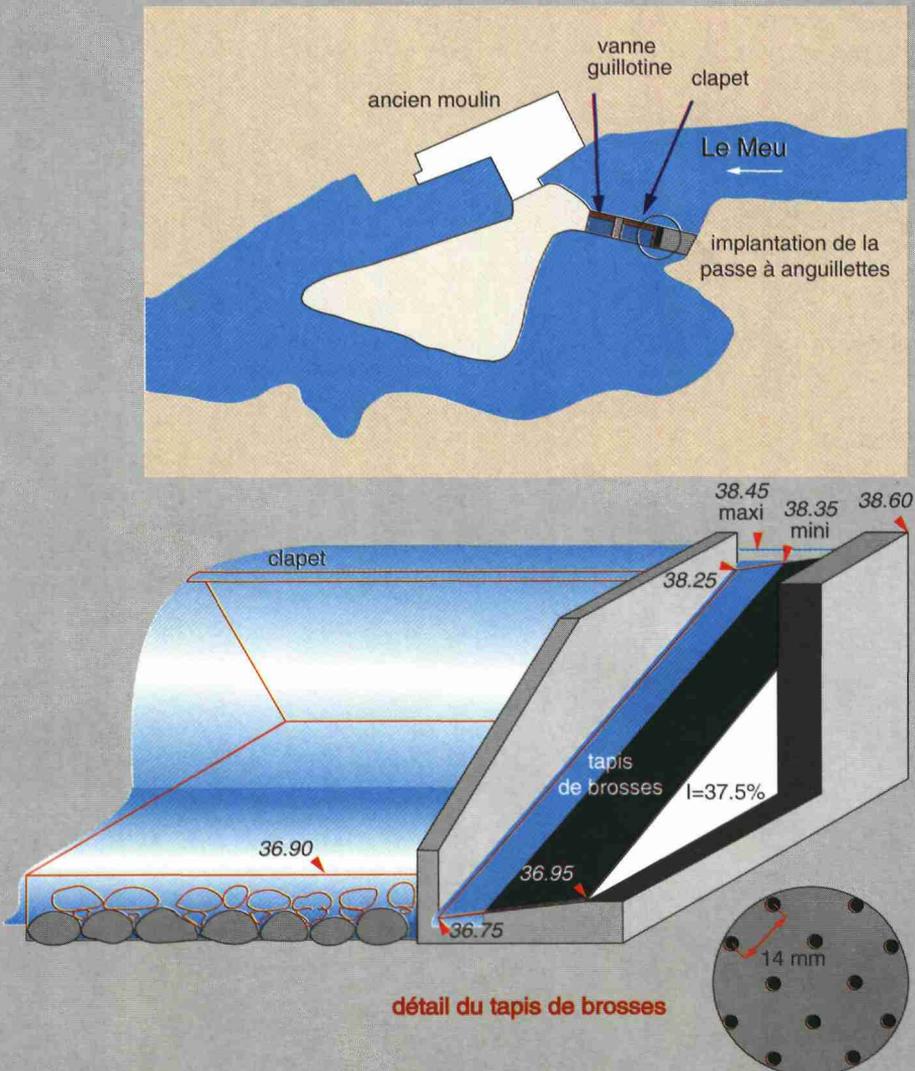
Largeur de la rampe :	0.70 m
Longueur de la rampe :	4 m
Pente de la rampe :	37%
Type de substrat :	Anguilette (distance inter-touffes : 14 mm)
Coût :	8000 F (1989), non compris le génie civil qui a été jugé négligeable car intégré à la réfection complète du barrage à l'occasion de l'installation d'une vanne automatique.



A12

### Commentaires

Les fluctuations du niveau amont sont modérées (0.10 m de part et d'autre du niveau légal de retenue) grâce à la présence d'un clapet régulateur. La rampe a été installée avec un dévers latéral de 0.20 m et calée pour être alimentée sur la moitié de sa largeur au niveau normal de retenue. Elle est ainsi susceptible d'absorber les fluctuations de niveau en conservant une zone à faible tirant d'eau facilitant le passage de l'anguille.



Alose : 17, 20-22, 25, 30, **190**  
 ascenseur 161, 164-169, 171, 201  
 capacité de nage 191-192  
 choix de passe 43, 190  
 comptage 237, 245, 247  
 dévalaison 252, 255  
 éclairage 61, 193  
 écluse de navigation 157-158  
 écoulement de surface 88, 193, 200  
 écoulement à jet plongeant 88, 192, 193, 200  
 efficacité des passes 203, 234, 249, 250  
 grille d'injection 82  
 largeurs fentes échancrures 91  
 mortalités (dans les turbines) 255  
 passe à bassins **107, 193**  
 passe à orifices noyés 104  
 pré barrage 119  
 puissance dissipée volumique 89  
 vitesse de nage 53

Anguille, anguilette : 17, 20, 21, 23, **204**  
 ascenseur 167, 171  
 blocage 63  
 capacité de nage 206  
 comptage 245, 247  
 dévalaison 207, 252  
 mortalités (dans les turbines) 255, 256  
 rampe de montée 210

Ascenseur à poissons : 36, 44, **158**  
 alose 161, **201**  
 contrôle 233, 241  
 coût **230**  
 éclairage 60-61

Attractivité : 46, 64-82  
 écluse à poissons 155  
 écluse de navigation 158  
 exutoire de dévalaison 264, 268  
 passe à aloses 198, 200, 203  
 passe à anguilles 213  
 passe à bassins 98  
 passe à jet de surface 100  
 passe à jet plongeant 100  
 pré barrage 22, 117

Attrait (phase d') :  
 écluse à poissons 154-155

Buse :  
 franchissement **172, 206**  
 anguille 206  
 éclairage 60  
 exutoire de dévalaison 267-268  
 ouvrage estuarien 187

By-pass :  
 dévalaison **262, 264**  
 écluse à poissons 154

Calage :  
 passe à bassins **97**  
 passe à ralentisseurs 132-144

Capacité de nage : 36, **48-59**

Capacité de saut : 56-59

Charge :  
 passe à bassins 91-96, 105, 109  
 passe à ralentisseurs 128, 132-148  
 rivière artificielle 123

civelle (voir anguille)

Clupéidés :  
 mortalités (dans les turbines) 255

Coefficient de débit :  
 passe à bassins 92-96, 106, 112

Comptage : **232-251**  
 ascenseur 171  
 Coût : 27-30, 44, 81, **228-230**  
 ascenseur 169-171, 230  
 contrôle 237, 240, 246, 250  
 écran électrique 284  
 passe à bassins 228-229  
 passe à ralentisseurs 150, 230

- Cyprinidés : 22  
 choix de passe 42, 64  
 critères (passe) 88, 91, 104, 110-111  
 seuil en enrochements 184
- Débit : 44, 47, 80  
 ascenseur 165-166  
 buse 174-175, 177, 179-183  
 conception des projets 218, 219-220, 221, 224  
 contrôle 233, 239, 249  
 coût 228-230  
 débit (choix dans les passes) 222  
 débit d'appoint 46, 64, 81-82, 98, 115, 158, 167, 170, 201, 202, 271  
 débit d'attrait (voir débit d'appoint)  
 débit réservé 31-32, 72, 97  
 dévalaison 261, 265  
 écluse à poissons 155  
 écluse de navigation 158  
 montaison 270  
 passe à aloses 194, 200-203  
 passe à anguilles 206, 209  
 passe à bassins 38, 42, 86, 89-90, 92-96, 97, 100-101, 104, 105-106, 109, 110, 112, 115  
 passe à ralentisseurs 43, 127, 129, 131, 134, 139, 142, 144, 148, 150  
 prébarrages 117-118  
 rivière artificielle 69, 121, 123-125  
 seuil en enrochements 183
- Déversoir :  
 anguille, franchissement 206  
 dévalaison 253-255  
 estimation des débits 94-96  
 prébarrage 118
- Echancures triangulaires (passe à) : 115-116
- Eclairage : 60-61
- Ecluse à poissons : 39, 44, 152-158  
 alose 201  
 contrôle 233, 241  
 efficacité 155-156
- Ecluse Borland : voir écluse à poissons
- Ecluse de navigation : 157-158  
 ouvrage estuarien 187
- Ecoulement à jet de surface : 88, 91, 193
- Ecoulement à jet plongeant : 87, 91, 192, 193
- Efficacité (des passes à poissons) : 34-35, 36, 46, 216-224  
 dispositifs de dévalaison 268  
 ascenseur 171  
 contrôle 232, 248-251  
 écluse à poissons 155-156  
 passe à aloses 198-200
- Endurance : 49-53  
 alose 191  
 buse 174  
 passe à ralentisseurs 128, 130
- Energie (dissipation) :  
 ascenseur 165  
 buse 177, 179, 181, 182  
 débit d'appoint 81, 82  
 passe à bassins 38, 109, 111  
 passe à ralentisseurs 126  
 rivière artificielle 120, 122, 124, 125  
 seuil en enrochements 183
- Engrèvement : 73
- Entrée : 36, 37, 46, 64-79  
 ascenseur 165  
 attractivité 64  
 buse 177  
 débit, vitesse, hydrodynamiques 74-82  
 dimensionnement 98  
 écluse à poissons 15  
 implantation 64-72  
 ouvrage estuarien 188  
 passe à aloses 198-200, 202  
 passe à anguilles 209, 213  
 rivière artificielle 121  
 passe à bassins 98, 100  
 passe à ralentisseurs 129, 138
- Esturgeon : 17
- Evacuateur de crue (dévalaison) : 253-255

**Galerie collectrice :**

implantation 69  
 passe à aloses 202

**Gaspureau :**

passe à ralentisseurs plans 132

**Grille :**

alose 194, 201, 201  
 ascenseur 44, 162, 163, 167, 170  
 contrôle 236, 237  
 dévalaison 259  
 exutoire de dévalaison 264-268  
 injection (du débit d'appoint) 46, 81-82, 98,  
 165-166  
 montaison 271-273, 276  
 protection 84

**Lamproie : 17, 20, 22, 30**

ascenseur 167  
 choix de passe 43  
 contrôle 240, 245, 247  
 efficacité 234  
 passe à ralentisseurs 130

**Modèles réduits : 231****Noyage :**

buse 177  
 passe à bassins 100

**Passé à aloses : 190-203****Passé à anguilles : 204-215****Passé à bassins : 38, 42-43, 86-119**

alose 43, 193-197  
 contrôle 233, 241  
 ouvrage estuarien 188  
 seuil en enrochements 185  
 coût 228-229

**Passé à ralentisseurs : 39, 43-44**

aloses 198-200  
 contrôle 233, 241  
 coût 230  
 seuil en enrochements 184  
 ouvrage estuarien 188

**Passé à seuils triangulaires :**

rivières artificielles 123

**Pente :**

alose, passe à ralentisseurs plans 198  
 blocage 63  
 buse 176  
 buse, déflecteurs 182  
 obstacle 62  
 passe à bassins 38, 104  
 passe à échancrures triangulaires 115  
 passe à ralentisseurs 39, 126, 132, 134, 144,  
 146, 150  
 rivière artificielle 40, 120  
 seuil en enrochements 185

**Poissons blancs :**

choix de passe 42  
 passe à 110-111  
 pré barrage 119  
 puissance dissipée volumique 89

**Pré barrage : 41, 117-119**

buse 177  
 ouvrage estuarien 187  
 seuil en enrochements 117, 185

**Protection : 84****Puissance dissipée volumique : 89, 97**

contrôle du débit 101  
 coût, passe à bassins successifs 229  
 déflecteurs 179  
 passe à aloses 194  
 passe à échancrures triangulaires 115  
 pré barrage 118  
 rivière artificielle 123

**Rivière artificielle : 40, 69, 120-125****Salmonidés, saumon : 17, 25, 66**

ascenseur 164, 166-168, 170, 230  
 blocage 63  
 buse 175, 179  
 choix de passe 42  
 conditions hydrodynamiques 77  
 contrôle 240, 243, 245, 250  
 dévalaison 252, 253, 262-263

- mortalités (dans les turbines) 255-256  
capacité de nage 53-55  
capacité de saut 56  
éclairage 60-61  
efficacité des passes 234  
montaison 271, 273, 274  
ouvrage estuarien 187  
passe à bassins 87-88, 89, 91, 104, 112  
passe à ralentisseurs 126, 129, 130, 140, 150  
passe à ralentisseurs à chevrons épais 147, 148  
passe à ralentisseurs de fond suractifs 143, 144  
passe à ralentisseurs plans 132, 134, 137  
pré barrage 117, 119  
puissance dissipée volumique 89
- Sandre :
- ascenseur 171
- seuil en enrochements (franchissement) :  
183-185  
rivière artificielle 122
- Sortie :
- entretien 84  
implantation 72
- Truite : 16  
ascenseur 164, 166-168, 230  
buse 175, 179  
choix de passe 42  
contrôle 240  
dévalaison 252  
montaison 271  
passe à 110-111  
passe à bassins 88, 91, 104, 109  
passe à ralentisseurs 129, 131, 140  
passe à ralentisseurs à chevrons épais 147  
passe à ralentisseurs plans 136, 137  
passe à ralentisseurs de fond suractifs 143, 144  
capacité de nage 53-55  
capacité de saut 56
- Truite de lac : 16  
dévalaison 252
- Truite de mer : 21, 22, 30  
ascenseur 164, 166-167  
buse 175  
choix de passe 42  
contrôle 240, 247, 250  
dévalaison 252  
montaison 271  
passe à bassins 88, 104  
passe à ralentisseurs plans 132
- Truite steelhead :
- capacité de nage 191  
éclairage 61
- turbulence : 36, 46  
alose 43, 195, 198  
buse 177  
dévalaison 253, 254  
écluse à poissons 155  
conditions hydrodynamiques 75  
passe à bassins 98, 100, 101, 107  
modèle réduit 231  
montaison 274  
obstacle 62, 66  
rivière artificielle 121
- vitesse de nage : 36, 48-59  
aloses 191-192  
anguille 206  
buse 174, 182  
civelle 206  
formule empirique 50  
franchissement 57-59  
maximale 50  
montaison 277  
passe à bassins 58  
passe à ralentisseurs 43, 59

C. Gosset  
INRA - Station d'Hydrobiologie  
BP 3  
64310 SAINT - PEE - SUR - NIVELLE

M. Larinier  
CSP - CEMAGREF - Institut de Mécanique des Fluides  
Avenue du Professeur Camille Soula  
31400 TOULOUSE

J.P. Porcher  
CSP - DR 2  
84, rue de Rennes  
35510 CESSON - SEVIGNE

F. Travade  
EDF - Etudes et Recherches  
6, Quai Watier  
78401 CHATOU CEDEX

Photographies  
H. Carmié  
G. Euzenat  
C. Gosset  
M. Larinier  
A. Nihouarn  
J.P. Porcher  
F. Travade

Directeur de publication G. Tendron  
Conception graphique JP. Auxière  
Assistante d'édition C.Pénit

## ERRATA

### Page 93 (figure 5.2)

Les figures 5.2b et 5.2c (fente verticale et échancrure rectangulaire constituant un déversoir dénoyé) ont été inversées :

- la figure 5.2 b représente un déversoir alors que la formule située vis-à-vis correspond au débit dans une fente ;
- la figure 5.2 c représente une fente alors que la formule située vis-à-vis correspond au débit au dessus d'un déversoir.

### Page 137 en bas à droite

Lire fig. 6.3 et non fig. 6.2.

### Page 142 légende des ordonnées (à droite)

Lire  $V^* = \frac{q}{h\sqrt{2ga}}$  au lieu de  $V^* = \frac{q}{\sqrt{2ga}}$

### Page 144 légende de la figure 6.9

Lire "suractifs" au lieu de "Fatou".

### Page 149 légende des ordonnées (à droite)

Lire  $V^* = \frac{q}{h\sqrt{2ga}}$  au lieu de  $V^* = \frac{q}{\sqrt{2ga}}$

### Page 230 avant dernier alinéa

Lire "1 500 000 F à 2 500 000 F" au lieu de "1 500 000 KF à 2 500 000 KF".

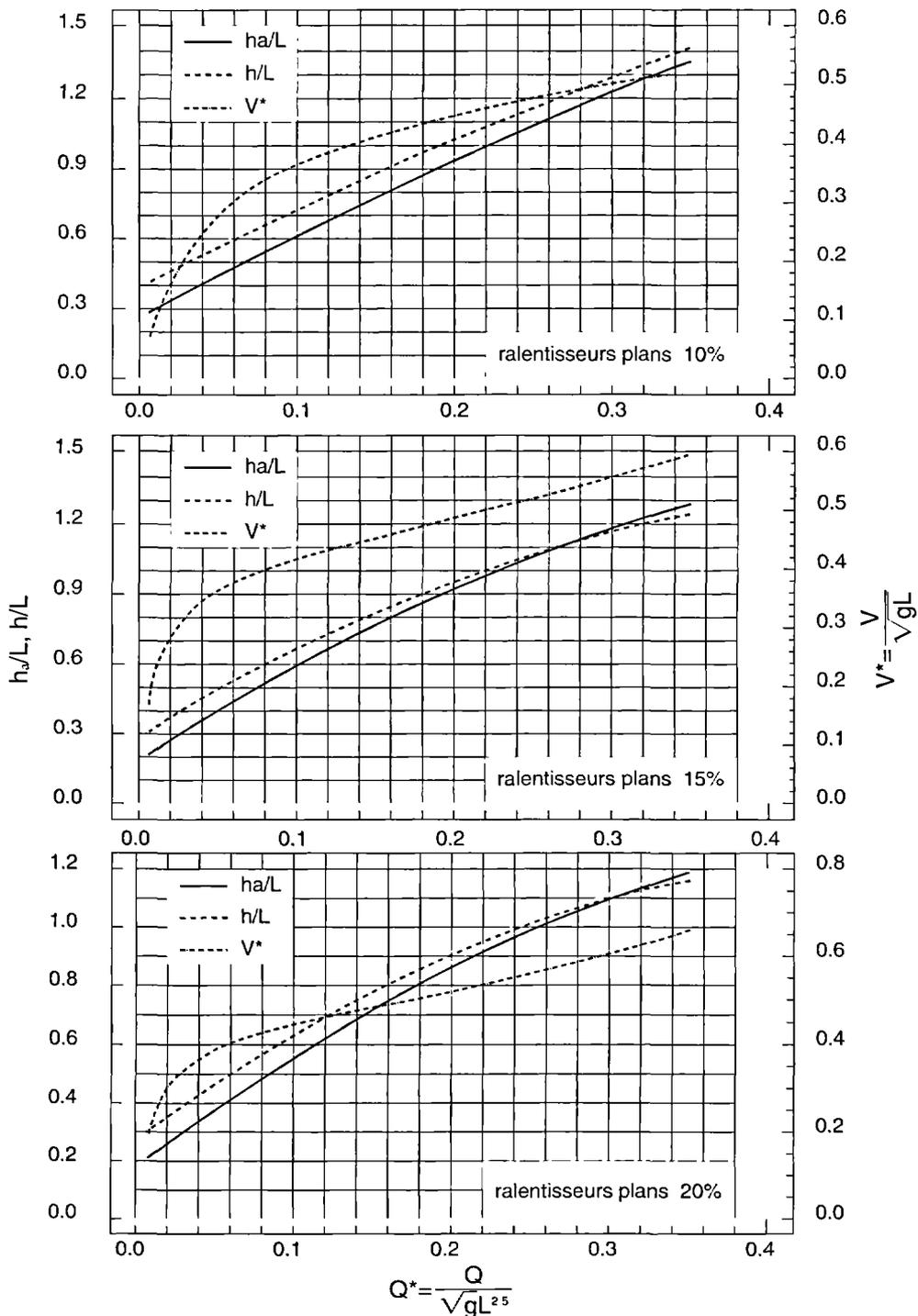
### Page 256 troisième alinéa

Formule de mortalité dans les turbines Francis :

Lire 
$$P = \left\{ \sin(-4.21 + 1.25V_1^{0.821} + 2.28N^{0.19} \left( \frac{TL}{esp} \right)^{0.84} W_1^{0.71} \right\}^2 \quad (R = 0.87)$$

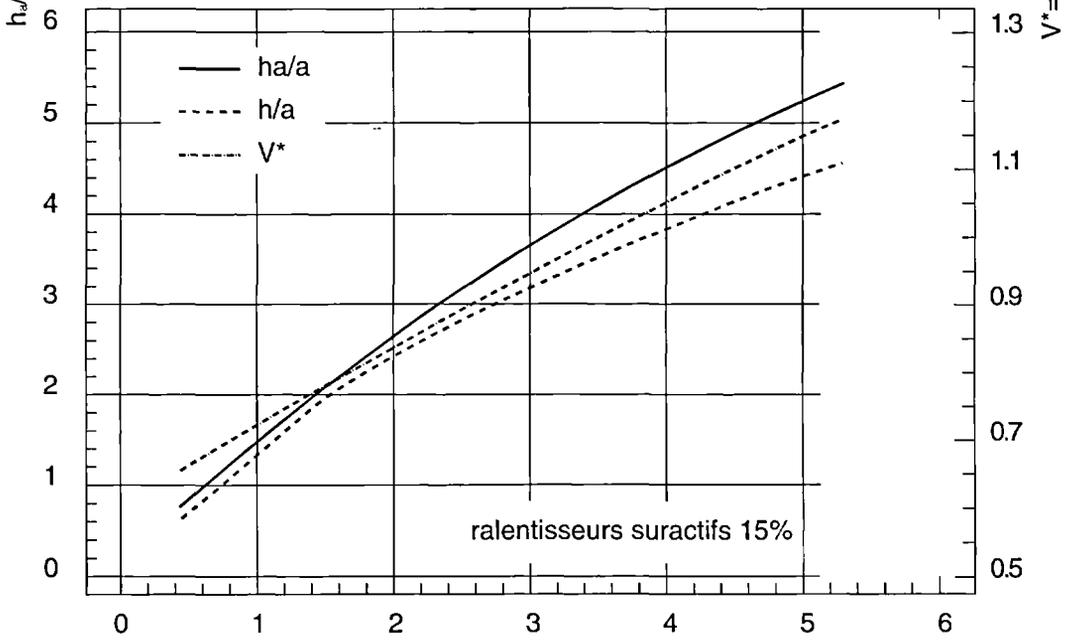
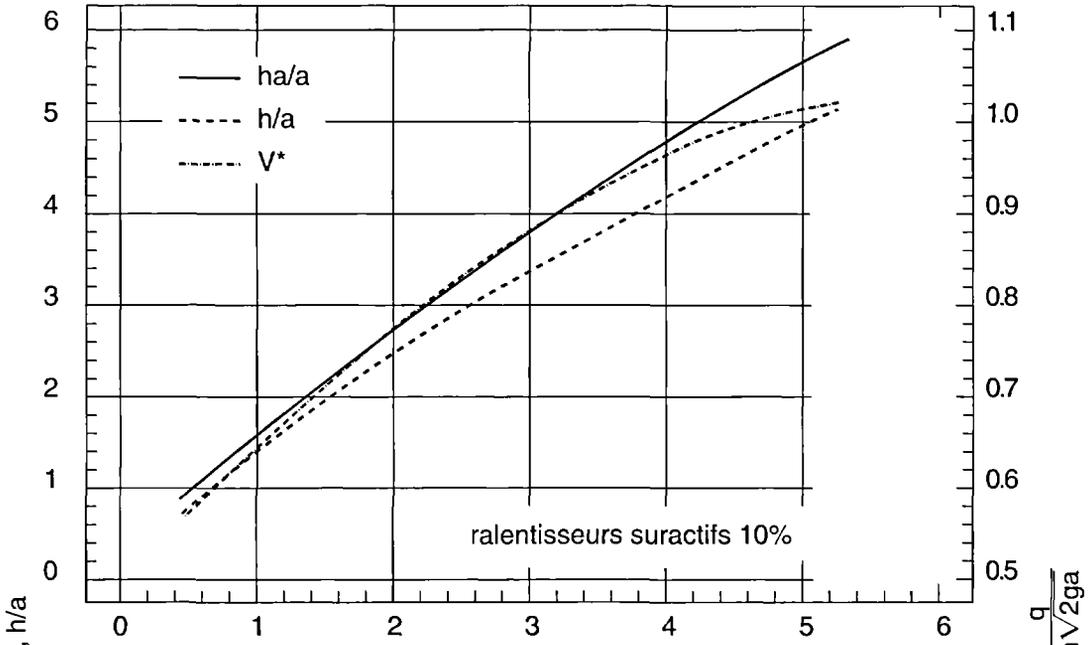
au lieu de 
$$P = \left\{ \sin(4.21 + 1.25V_1^{0.821} + 2.28N^{0.19} \left( \frac{TL}{esp} \right)^{0.84} W_1^{0.71} \right\}^2 \quad (R = 0.59)$$

# ERRATA



Relation entre le débit, la charge amont, le tirant d'eau moyen et la vitesse débitante pour la passe à ralenteurs plans

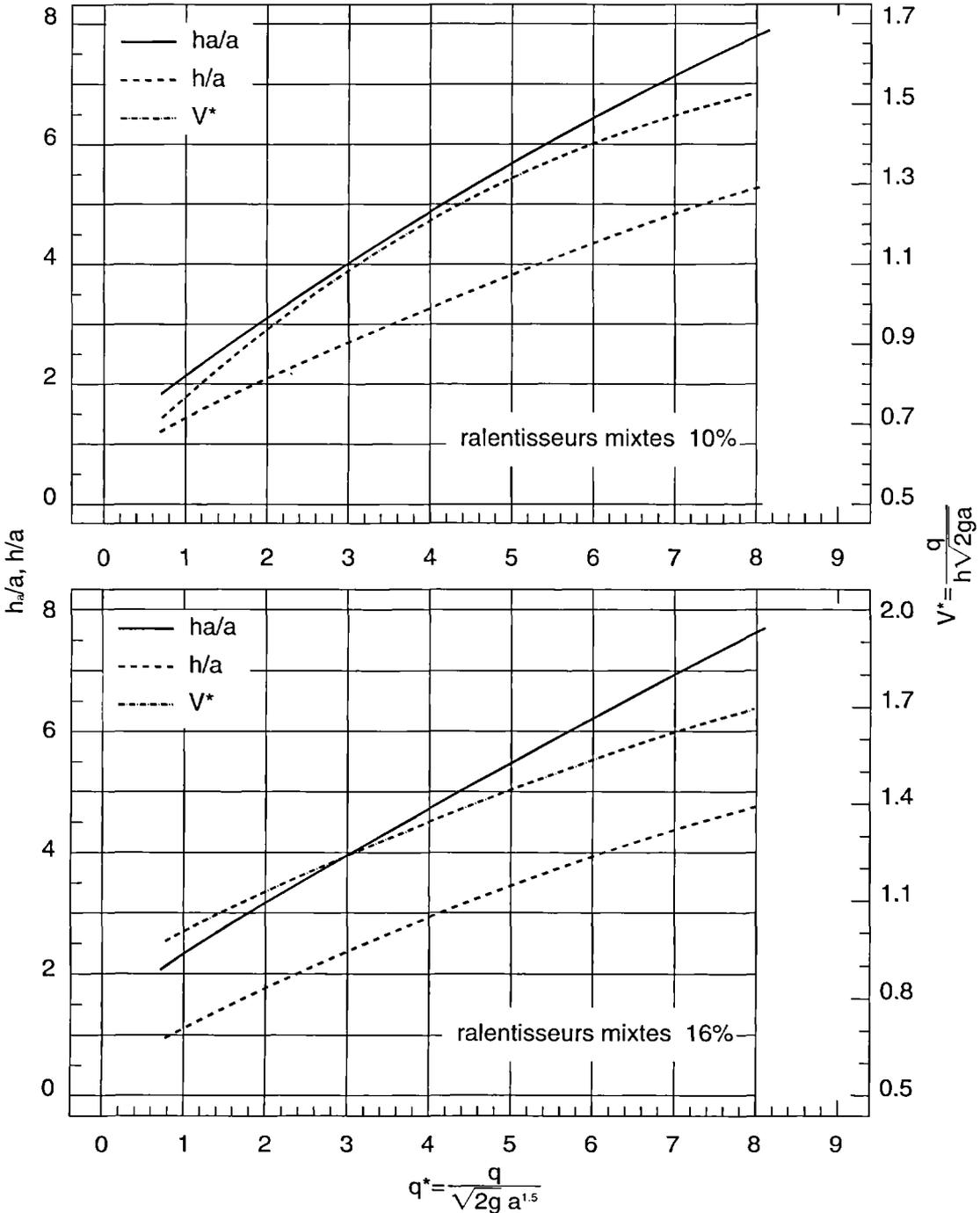
# ERRATA



$$q^* = \frac{q}{\sqrt{2g} a^{1.5}}$$

Relation entre le débit, la charge amont, le tirant d'eau moyen et la vitesse débitante pour la passe à ralentisseurs de fond de type "suractifs"

# ERRATA



Relation entre le débit, la charge amont, le tirant d'eau moyen et la vitesse débitante pour la passe à ralentisseurs de fond en chevrons épais

**M. Larinier, J.P. Porcher, F. Travade  
et C. Gosset ont voulu mettre  
dans ce recueil l'ensemble  
des connaissances disponibles  
sur le franchissement des barrages  
par les poissons migrateurs.**

**Plus de dix années de recherche  
théorique et appliquée,  
une expérience française  
et étrangère exercée sur plusieurs  
centaines d'ouvrages, l'organisation  
pour le CSP des stages  
sur la conception des passes,  
font de ces ingénieurs  
des spécialistes incontestés,  
reconnus en France et à l'étranger.**

**Que vous soyez passionné  
par la gestion des cours d'eau  
à migrateurs, confronté  
aux problèmes des grands  
aménagements hydrauliques  
ou technicien amené à concevoir  
ou à expertiser des aménagements,  
cette "mise au point" vous donnera  
les informations techniques  
que vous attendez.**



**M. Larinier, Ingénieur hydraulicien  
chargé de mission  
responsable du Groupe  
d'Hydraulique Appliquée  
aux Aménagements Piscicoles,  
réunissant le CSP, le CEMAGR  
et l'Institut de Mécanique  
des Fluides à Toulouse.**



**J.P. Porcher, Ingénieur Agronome,  
spécialité  
"Préservation et Aménagement  
du Milieu Naturel",  
au Conseil Supérieur de la Pêche  
à la délégation régionale de Rennes.  
Il est responsable  
du Centre National d'Interprétation  
des Captures de Salmonidés  
Migrateurs.**



**F. Travade, Ingénieur Agronome,  
spécialité "Halieutique",  
à la Direction des Études  
et Recherches d'EDF,  
Département Environnement  
Aquatique et Atmosphérique.  
Il a participé, avec le CSP et le  
CEMAGREF, aux études pour  
l'équipement en passes des barrages  
de la plupart des grands cours d'eau.**



**C. Gosset, Ingénieur de l'École  
Supérieure d'Électronique et de  
Radioactivité de Bordeaux. Il est  
responsable à l'INRA du  
programme "Application de  
l'électricité à la biologie et à  
l'aménagement des pêches" à la  
station d'hydrobiologie de Saint  
Pée sur Nivelle.**