

# DAMS AND FISHES

*Review and recommendations*

# LES BARRAGES ET LES POISSONS

*Synthèse et recommandations*

**Bulletin 116**



**1999**

This Bulletin has been prepared by a working group of the ICOLD Committee on the Environment, formed by P. Savey (France) – coordinator –, O. Arai (Japan), B. Wark (Australia), S. Ionescu (Romania), K. Imhoff (Germany), G. Guertin (Canada), A. Pickford (New Zealand).

*Ce Bulletin a été préparé par un groupe de travail du Comité de l'Environnement de la CIGB, comprenant P. Savey (France) – coordinateur –, O. Arai (Japon), B. Wark (Australie), S. Ionescu (Roumanie), K. Imhoff (Allemagne), G. Guertin (Canada), A. Pickford (Nouvelle-Zélande).*

# **DAMS AND FISHES**

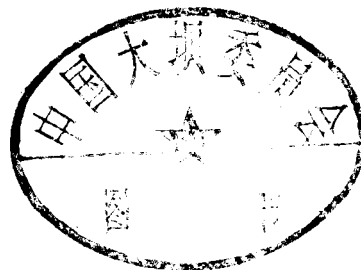
---

*Review and recommendations*

# **LES BARRAGES ET LES POISSONS**

---

*Synthèse et recommandations*



---

Commission Internationale des Grands Barrages - 151, bd Haussmann, 75008 Paris  
Tél. : (33-1) 53 75 16 52 - Fax : (33-1) 40 42 60 71  
E-mail : [secretaire.general@icold-cigb.org](mailto:secretaire.general@icold-cigb.org) - Site : [www.icold-cigb.org](http://www.icold-cigb.org)

---

**AVERTISSEMENT – EXONERATION DE RESPONSABILITE:**

Les informations, analyses et conclusions auxquelles cet ouvrage renvoie sont sous la seule responsabilité de leur(s) auteur(s) respectif(s) cité(s).

Les informations, analyses et conclusions contenues dans cet ouvrage n'ont pas force de Loi et ne doivent pas être considérées comme un substitut aux réglementations officielles imposées par la Loi. Elles sont uniquement destinées à un public de Professionnels Avertis, seuls aptes à en apprécier et à en déterminer la valeur et la portée et à en appliquer avec précision les recommandations à chaque cas particulier.

Malgré tout le soin apporté à la rédaction de cet ouvrage, compte tenu de l'évolution des techniques et de la science, nous ne pouvons en garantir l'exhaustivité.

Nous déclinons expressément toute responsabilité quant à l'interprétation et l'application éventuelles (y compris les dommages éventuels en résultant ou liés) du contenu de cet ouvrage.

En poursuivant la lecture de cet ouvrage, vous acceptez de façon expresse cette condition.

**NOTICE – DISCLAIMER :**

The information, analyses and conclusions referred to herein are the sole responsibility of the author(s) thereof.

The information, analyses and conclusions in this document have no legal force and must not be considered as substituting for legally-enforceable official regulations. They are intended for the use of experienced professionals who are alone equipped to judge their pertinence and applicability and to apply accurately the recommendations to any particular case.

This document has been drafted with the greatest care but, in view of the pace of change in science and technology, we cannot guarantee that it covers all aspects of the topics discussed.

We decline all responsibility whatsoever for how the information herein is interpreted and used and will accept no liability for any loss or damage arising therefrom.

Do not read on unless you accept this disclaimer without reservation.

COMMITTEE ON THE ENVIRONMENT  
COMITÉ DE L'ENVIRONNEMENT  
(1991-1997) (1997-2003) (\*)

*Chairman/Président*

Canada G. GUERTIN

*Members/Membres*

Algeria/Algérie	A. BOUCHAMA
Australia/Australie	R.J. WARK
Brazil/Brésil	L. NOBRE VARELLA (1) R.N. MUNDIM (2)
Cameroon/Cameroun	T. NSANGOU
China/Chine	CHEN Wangziang
France	P. SAVEY
Germany/Allemagne	K.R. IMHOFF (1) H. MANTWILL (2)
Indonesia/Indonésie	ROEDJITO DM
Iran	R. MAKNOUN
Italy/Italie	G. CESARI
Japan/Japon	O. ARAI (1) J. HARADA (2)
Kenya	F. KIMANI
Malaysia/Malaisie	ZAINAL ABIDIN OTHMAN
Netherlands/Pays-Bas	H.L. SAEIJS
New Zealand/Nouvelle-Zélande	A. PICKFORD (1) P. RILEY (2)
Norway/Norvège	M.E. SKOFTELAND
Pakistan	A.H. KAZI
Romania/Roumanie	S. IONESCU
Russia/Russie	A. ASSARIN
Spain/Espagne	J. FORA BECEDONIZ
Sweden/Suède	P. SJÖSTRÖM
Switzerland/Suisse	B. HAGIN
United Kingdom/Royaume-Uni	B. ROFE
USA/États-Unis	L.O. TIMBLIN
Venezuela	F. BARREAT
Zimbabwe	J. HART

---

(\*) Membership in 1997/Composition en 1997

(1) Member until 1997/Membre jusqu'en 1997

(2) Member since 1997/Membre à partir de 1997

---

## SOMMAIRE

---

- AVANT-PROPOS
1. GÉNÉRALITÉS SUR LA FAUNE PISCICOLE
  2. LES POISSONS DANS LES RETENUES DES BARRAGES
  3. LE FRANCHISSEMENT DES BARRAGES PAR LES POISSONS
  4. LES POISSONS À L'AVAL DU BARRAGE
  5. CONCLUSION

---

## CONTENTS

---

- FOREWORD
1. GENERAL INFORMATION ON FISHLIFE
  2. FISH IN DAM RESERVOIRS
  3. FISH PASSES THROUGH DAMS
  4. FISH DOWNSTREAM OF DAMS
  5. CONCLUSION

---

## TABLE DES MATIÈRES

---

AVANT-PROPOS .....	12
1. GÉNÉRALITÉS SUR LA FAUNE PISCICOLE .....	16
1.1. Facteurs déterminants de la population piscicole d'une rivière .....	16
1.2. Qualité des eaux .....	20
1.3. Classification des rivières .....	26
1.4. Méthodes d'évaluation de la population piscicole .....	28
1.5. Quelques poissons caractéristiques .....	32
1.6. Bibliographie .....	34
2. LES POISSONS DANS LES RETENUES DES BARRAGES .....	46
2.1. Intérêt piscicole des retenues .....	46
2.2. Modification de la qualité des eaux .....	46
2.2.1. Évolution de la population piscicole vers un système à dominante lacustre .....	46
2.2.2. Effets de la submersion initiale .....	48
2.2.3. Niveau d'eutrophisation des eaux .....	52
2.3. Effet du marnage des retenues et importance de la végétation rivulaire .	54
2.4. Alevinage et introduction d'espèces étrangères .....	58
2.5. Éducation des riverains et contrôle de la pêche .....	60
2.6. Bibliographie .....	62
3. LE FRANCHISSEMENT DES BARRAGES PAR LES POISSONS .....	76
3.1. Généralités .....	76
3.1.1. Opportunité et efficacité .....	76
3.1.2. Choix des espèces cibles .....	78
3.1.3. Accessibilité aux ouvrages de franchissement .....	78
3.1.4. Lutte contre la prédation .....	80
3.1.5. Entretien et suivi .....	80
3.2. Échelles à poissons .....	80
3.2.1. Nature et domaine d'utilisation .....	80
3.2.2. Parois séparant les bassins .....	81
3.2.3. Bassins .....	84

---

## TABLE OF CONTENTS

---

FOREWORD.....	13
1. GENERAL INFORMATION ON FISHLIFE .....	17
1.1. Factors determining the fishlife of a river .....	17
1.2. Water quality .....	21
1.3. Classification of rivers .....	27
1.4. Methods of assessing the fish population .....	29
1.5. Some typical fish .....	33
1.6. Bibliography .....	34
2. FISH IN DAM RESERVOIRS .....	47
2.1. Importance of fish in reservoirs .....	47
2.2. Changes in water quality .....	47
2.2.1. Tendency towards a stagnant-water fish population .....	47
2.2.2. Effects of initial filling .....	49
2.2.3. Eutrophication level of water .....	53
2.3. Effect of fluctuating water levels and importance of river bank vegetation .....	55
2.4. Fish stocking and introduction of new species .....	59
2.5. Education of local populations and control of fishing .....	61
2.6. Bibliography .....	62
3. FISH PASSES THROUGH DAMS .....	77
3.1. General .....	77
3.1.1. Appropriateness and effectiveness .....	77
3.1.2. Choice of target species .....	79
3.1.3. Accessibility of fish pass structures .....	79
3.1.4. Protection from predators .....	81
3.1.5. Maintenance and monitoring .....	81
3.2. Fish ladders .....	81
3.2.1. Type and extent of use .....	81
3.2.2. Baffle walls between the pools .....	83
3.2.3. Pool cells .....	85



3.2.4. Débit .....	86
3.2.5. Coût .....	86
3.3. Passes à ralentisseurs (passes Denil) .....	86
3.4. Écluses de navigation .....	88
3.5. Écluses à poissons .....	90
3.6. Ascenseurs à poissons .....	92
3.7. Passes à anguilles .....	94
3.8. Capture, transport et relargage des poissons .....	96
3.9. Dévalaison des poissons .....	98
3.9.1. Généralités .....	98
3.9.2. Franchissement des évacuateurs de crue .....	100
3.9.3. Possibilités de passage par les turbines .....	100
3.9.4. Barrières .....	104
3.10. Bibliographie .....	106
4. LES POISSONS À L'AVAL DU BARRAGE .....	124
4.1. Effets du barrage sur le régime des eaux à l'aval .....	124
4.1.1. Barrage sans dérivation .....	124
4.1.2. Barrage avec dérivation : conséquences de la réduction du débit ..	126
4.1.3. Barrage avec dérivation : détermination du débit réservé .....	128
4.2. Calcul du débit minimal par référence au régime hydraulique de la rivière .....	130
4.2.1. En Europe .....	132
4.2.2. Aux États-Unis .....	132
4.3. Calcul du débit minimal à partir d'une analyse précise des impacts piscicoles .....	136
4.3.1. Méthode empirique .....	136
4.3.2. Méthode du micro-habitat .....	138
4.4. Bibliographie .....	142
5. CONCLUSION .....	150

3.2.4. Flow rate .....	87
3.2.5. Cost .....	87
3.3. Channel type fishways (Denil fishways) .....	87
3.4. Navigation locks .....	89
3.5. Fish locks .....	91
3.6. Fish elevators .....	93
3.7. Eelways .....	95
3.8. Trapping, transport and release of fish .....	97
3.9. Descent of rivers by fish .....	99
3.9.1. General .....	99
3.9.2. Negotiating spillways .....	101
3.9.3. Possibilities for negotiating turbines .....	101
3.9.4. Barriers .....	105
3.10 Bibliography .....	106
4. FISH DOWNSTREAM OF DAMS .....	125
4.1. Effect of the dam on downstream flow conditions .....	125
4.1.1. Dam without diversion .....	125
4.1.2. Dam with diversion : effect of the reduction in flow .....	127
4.1.3. Dam with diversion : determining compensation flow .....	129
4.2. Calculation of minimum flow rate as a function of river flow conditions .....	131
4.2.1. In Europe .....	133
4.2.2. In the United States .....	133
4.3. Calculation of minimum flow rate based on an analysis of impacts on fishlife .....	137
4.3.1. Empirical method .....	137
4.3.2. Micro-habitat method .....	139
4.4. Bibliography .....	143
5. CONCLUSION .....	151

---

## LISTE DES FIGURES

---

- Fig. 1 - Sensibilité de quelques poissons à la vitesse du courant
- Fig. 2 - Périodes de frai et de développement des alevins dans l'hémisphère nord
- Fig. 3 - Teneur en oxygène dissous de l'eau douce au niveau de la mer
- Fig. 4 - Typologie piscicole d'une rivière de la source à la mer
- Fig. 5 - Zonage longitudinal des peuplements de poissons d'Europe occidentale
- Fig. 6 - Un exemple de dénombrement de la biomasse piscicole sur le Rhône (France)
- Fig. 7 - Éléments de référence pour quelques poissons caractéristiques
- Fig. 8 - Modèle théorique de l'évolution du taux de mercure dans le corps des corégones et des brochets de la retenue La Grande-2 (Canada)
- Fig. 9 - Capture globale annuelle de différentes espèces de poissons dans des retenues de la Ruhr, Allemagne (moyenne 1989 - 1994)
- Fig. 10 - Relation entre la teneur en chlorophylle a et la productivité globale de poissons dans des retenues de la Ruhr, Allemagne (moyenne 1989 - 1994)
- Fig. 11 - Divers aménagements de rives au Japon
- Fig. 12 - Projet d'aménagement de rives pour les retenues de la liaison navigable Saône - Rhin (France)
- Fig. 13 - Rivière artificielle de Saint-Pierre-de-Bœuf (barrage du Péage-de-Roussillon, France)
- Fig. 14 - Canal de reproduction d'ayus du lac Biwa (Japon)
- Fig. 15 - Coupe transversale type d'un canal de reproduction aux États-Unis
- Fig. 16 - Dispositif d'élevage de poissons dans une retenue
- Fig. 17 - Parois à déversoirs et orifices de fond selon le type Ice Harbor (États-Unis)
- Fig. 18 - Échelles à poissons à fentes verticales
- Fig. 19 - Caractéristiques géométriques de passes à fentes verticales simplifiées
- Fig. 20 - Échelle à poissons du seuil de la Drôme (France)
- Fig. 21 - Coût de construction d'échelles à poissons aux États-Unis (pour saumons)
- Fig. 22 - Paramètres caractéristiques de la passe à ralentisseurs plans
- Fig. 23 - Utilisation de l'écluse de Vallabrègues (Rhône, France) pour le passage des aloses
- Fig. 24 - Schéma de principe du fonctionnement d'une écluse à poissons
- Fig. 25 - Écluse à poissons de Dumbleton (Australie)
- Fig. 26 - Ascenseur à poissons de Golfech (France)
- Fig. 27 - Schéma de principe des grilles Eicher et Mis

---

## LIST OF FIGURES

---

- Fig. 1 - Sensibility of some fish to water speed
- Fig. 2 - Spawning and fry development periods in north hemisphere
- Fig. 3 - Dissolved oxygen content in fresh water near the sea
- Fig. 4 - Fish typically found in rivers from source to sea
- Fig. 5 - Longitudinal distribution of fish population along rivers in western Europe
- Fig. 6 - An example of a fish biomass count on Rhône river (France)
- Fig. 7 - Reference data for some typical fish
- Fig. 8 - Theoretical model of the evolution of mercury in the flesh of lake whitefish and northern pike for La Grande-2 reservoir (Canada)
- Fig. 9 - Total annual catch of different fish species in reservoirs of Ruhr River Association, Germany (Mean 1989 - 1994)
- Fig. 10 - Relationship between the chlorophyll-a content and the gross yield of fish, caught in reservoirs of Ruhr River Association, Germany (Mean 1989 - 1994)
- Fig. 11 - Some bank equipment in Japan
- Fig. 12 - Design of bank equipment for the navigable waterway Saône-Rhine (France)
- Fig. 13 - St-Pierre-de-Bœuf artificial river (Péage-de-Roussillon dam, France)
- Fig. 14 - An ayu spawning channel on Lake Biwa (Japan)
- Fig. 15 - Typical cross-section of a spawning channel in the USA
- Fig. 16 - Fish farming equipment in a reservoir
- Fig. 17 - Baffles with overflow weirs and bottom submerged orifices as used at Ice Harbor (USA)
- Fig. 18 - Vertical slot fish ladder
- Fig. 19 - Characteristics of a simplified vertical slot fishway
- Fig. 20 - Fish ladder on the Drôme river (France)
- Fig. 21 - Construction cost of fish ladders in the USA (for salmon)
- Fig. 22 - Characteristic parameters of the fishway with plain baffles
- Fig. 23 - Use of the Vallabrègues lock (Rhône, France) as a fish pass for alose species
- Fig. 24 - View showing the operating principle of a fish lock
- Fig. 25 - Dumbleton weir stage II (Australia) - Fish lock
- Fig. 26 - Golfech (France) fish elevator
- Fig. 27 - Operation of Eicher and Mis screens

- Fig. 28 - Déversoir permettant d'éviter, en partie, le passage des poissons dans la turbine (saumons dans la retenue Ice Harbor, États-Unis)
- Fig. 29 - Grille hydrodynamique (États-Unis)
- Fig. 30 - Les différents types de modèles fluviaux
- Fig. 31 - Influence du débit et de la pente sur le type de modèle fluvial
- Fig. 32 - Découpage de la rivière en vue de l'application de la méthode du micro-habitat
- Fig. 33 - Schéma du processus de la méthode du micro-habitat
- Fig. 34 - Exemple de courbes de préférence
- Fig. 35 - Diagramme d'évaluation d'un aménagement pour restaurer la circulation des migrateurs

- Fig. 28 - Surface structure designed to divert some of the migrating fish away from the turbine (salmons in Ice Harbor reservoir, USA)
- Fig. 29 - Hydrodynamic screen (USA)
- Fig. 30 - Different types of river models
- Fig. 31 - Influence of flow rate and slope on the type of river model
- Fig. 32 - Division of river for analysis according to micro-habitat method
- Fig. 33 - Diagram of micro-habitat method process
- Fig. 34 - Example of preference curves
- Fig. 35 - Assessment of scheme to regenerate migrating fish - Method of evaluation of an equipment

---

## AVANT-PROPOS

---

Les impacts des barrages sur l'environnement, et notamment sur la faune piscicole, ont été évoqués à l'occasion de plusieurs Congrès de la Commission Internationale des Grands Barrages (CIGB), et dans différents Bulletins publiés par celle-ci.

Le présent Bulletin se propose de donner des indications plus précises dans le seul domaine de la faune piscicole et d'esquisser, à ce sujet, une synthèse des connaissances et de l'expérience des constructeurs et exploitants de barrages.

Compte tenu, d'une part, du grand nombre de recherches en cours dans ce domaine et, d'autre part, de l'extraordinaire diversité des situations hydrologiques et climatiques et de la richesse de la faune piscicole, il ne prétend pas constituer un traité exhaustif ni édicter des règles détaillées de portée universelle. Il s'adresse à des ingénieurs et se propose simplement de leur donner le minimum d'informations dont ils auront, de toute façon, besoin pour avoir des échanges fructueux avec les biologistes compétents dans la faune piscicole de la région où il leur revient de concevoir un barrage.

Au préalable, il a paru utile de donner des informations très générales sur cette faune en décrivant sommairement les conditions de vie des poissons et les méthodes permettant d'évaluer leur population.

Trois domaines sont ensuite examinés :

- la retenue : conditions nécessaires à la vie piscicole (nourriture et reproduction),
- le barrage : technique des ouvrages de franchissement,
- la rivière à l'aval du barrage : conditions de débit permettant de préserver la faune piscicole.

Certaines de ces techniques sont relativement récentes. Aussi le présent Bulletin constitue-t-il une première approche qui devra être perfectionnée au fur et à mesure du développement d'une recherche assez active dans différents pays et qu'il y a lieu d'encourager.

En effet, le maintien et le développement de la faune piscicole sont importants pour le constructeur d'un barrage, qui doit avoir, dans ce domaine, un triple objectif :

- conserver la diversité des espèces vivantes,
- permettre l'alimentation des populations riveraines grâce à la pêche,
- assurer le développement des activités de loisirs nautiques.

Naturellement, ces objectifs doivent être adaptés à la taille du barrage et à la réglementation en vigueur dans le pays.

Ce Bulletin est une première étape avant l'établissement d'un guide pratique complet qui pourrait être élaboré, dans une seconde phase, par la CIGB avec des biologistes compétents. Il se limite aux barrages en rivière et n'inclut pas les barrages d'estuaire. En effet, ceux-ci présentent des problèmes très spécifiques tant à cause de l'écosystème qu'ils affectent que par leur fonctionnement (en position ouverte la plupart du temps). Ils impliquent donc un rapport particulier.

\*

\*\*

Ce Bulletin a été élaboré par un groupe de travail du Comité de l'Environnement de la CIGB, formé par Osamu ARAI (Japon), Bob WARK (Australie),

---

---

## FOREWORD

---

The impact of dams on the environment, and in particular on fishlife, has been discussed at several Congresses of the International Commission on Large Dams (ICOLD) and in different Bulletins published by this Organisation.

The present Bulletin aims to provide more detailed information on the impact on fishlife and to draw up a summary of the knowledge and experience of dam construction companies and operators.

However, given the considerable amount of research in progress in this area, the extraordinary diversity of hydrological and climatic situations, and the rich variety of fishlife that exists, it does not pretend to be an exhaustive treatise nor set out detailed rules that will be universally applicable. It is aimed at engineers and is simply intended to give the minimum amount of information that they will in any case need in order to have fruitful discussions with biologists specialising in the fishlife of the region where they are designing a dam.

As a preliminary step, it seemed expedient to provide information of a very general nature on this type of fauna by describing the living conditions of fish and the methods that can be used to assess fish populations.

Three areas are then examined :

- the reservoir : conditions necessary for fishlife (food and reproduction),
- the dam : fish pass techniques,
- the river downstream of the dam : flow conditions required to maintain fishlife.

Certain techniques are relatively recent. The present Bulletin should therefore be taken only as a first approach which will have to be gradually refined in the light of the fairly intensive research programmes being developed in different countries - programmes which should be encouraged.

The maintenance and development of fishlife are important aspects to be considered by dam builders. Indeed, in this area, the aim of the dam builder should be threefold :

- conserve the diversity of living species,
- enable riverside populations to fish for food,
- provide for the development of water-based recreational activities.

Naturally, these objectives must be adapted to the size of the dam and the regulations in force in the country concerned

This Bulletin is an initial stage prior to drawing up a complete practical guide that could then be prepared by the ICOLD with the specialist biologists. It is restricted to river dams and does not include those in estuaries, which indeed face very specific problems on account of the ecosystem that they affect and their particular type of operation (with the gates open most of the time). They therefore require a special report.

\*  
\*\*

This Bulletin was drawn up by a working group of the ICOLD Committee on the Environment formed by Osamu ARAI (Japan), Bob WARK (Australia), Stefan



Stefan IONESCU (Roumanie), Klaus IMHOFF (Allemagne) Gaétan GUERTIN (Canada), A. PICKFORD (Nouvelle-Zélande). Pierre SAVEY (France) était l'animateur et le rédacteur.

Les informations et les illustrations figurant dans ce Bulletin sont issues de publications assez récentes provenant de différents pays, dont la bibliographie figure à la fin de chaque chapitre.

Que les auteurs en soient ici vivement remerciés.

\*

\*\*

D'une manière générale, les publications de la CIGB relatives à l'environnement et où le thème de la faune piscicole est abordé de façon plus ou moins approfondie sont les comptes rendus des Congrès et Symposia, et les Bulletins. Elles ont également été utilisées pour la rédaction du présent Bulletin.

En ce qui concerne les Congrès, il s'agit des suivants :

11<sup>e</sup> Congrès (1973), Question 40 : Les conséquences de la construction des barrages sur l'environnement,

16<sup>e</sup> Congrès (1988), Question 60 : Retenues et environnement - Expériences de gestion et de mesure d'impact,

17<sup>e</sup> Congrès (1991), Question 64 : Les barrages et l'environnement,

18<sup>e</sup> Congrès (1994), Question 69 : Retenues en exploitation : expérience dans le domaine de l'environnement. Notamment les rapports 11, 12, 13, 14, 15, 22, 31, 35, 37, 38, 46 et 47.

À noter également le Symposium de 1993 relatif au « Haut barrage d'Assouan » et le Symposium de 1995 sur « Les retenues et le développement des bassins ».

En ce qui concerne les Bulletins relatifs à l'environnement, la CIGB a publié huit documents.

Le Bulletin 35 (Les barrages et l'environnement) présente une matrice générale des impacts des barrages sur l'environnement.

Le Bulletin 37 (Une réussite : les barrages et l'écologie) indique diverses solutions permettant de traiter ces impacts.

Le Bulletin 50 (Barrages et environnement - note sur les influences régionales) précise les différences selon l'environnement climatique : régions tempérées, tropicales, froides.

D'autre part, les Bulletins 65, 66 et 100 donnent des exemples concrets (barrages du Danube et de l'Inn, retenues en Finlande et en Suède, barrages de Selingué au Mali et de Santee Cooper aux USA, fermeture du Zuiderzee aux Pays-Bas, barrage de Ridracoli en Italie).

Tous ces Bulletins traitent de l'ensemble des problèmes environnementaux. À cette occasion, ils recensent, entre autres, les impacts sur la faune piscicole. Ils permettent de les apprécier qualitativement et ils montrent les diverses précautions à prendre pour les réduire ou les compenser.

Enfin, les Bulletins 86 et 96 traitent de thèmes bien définis; le premier est relatif aux effets socio-économiques des barrages, le second traite de leur impact sur la qualité de l'eau et le climat.

G. GUERTIN  
Président  
du Comité de l'Environnement

IONESCU (Romania), Klaus IMHOFF (Germany), Gaétan GUERTIN (Canada), A. PICKFORD (New Zealand). Pierre SAVEY (France) was the coordinator and reporter.

Information and illustrations in this Bulletin have been obtained from publications from different countries which have appeared fairly recently and which are identified in the bibliography at the end of each chapter.

We wish to express our appreciation to the authors of these reports.

\*

\*\*

In general, the ICOLD publications which concern the environment and which deal with fishlife in relative detail are the annals from Congresses and Symposia and the Bulletins. These documents have also been used to prepare the present Bulletin.

The Congresses concerned are as follows :

11th Congress (1973), Question 40 : The consequences on the environment of building dams,

16th Congress (1988), Question 60 : Reservoirs and the environment - Experience in management and monitoring,

17th Congress (1991), Question 64 : Environmental issues in dam projects,

18th Congress (1994), Question 69 : Environmental experience gained from reservoirs in operation. In particular, reports 11, 12, 13, 14, 15, 22, 31, 35, 37, 38, 46 and 47.

Mention should also be made of the 1993 Symposium on the High Aswan dam and the 1995 Symposium on reservoirs and the development of basins.

The ICOLD has published eight Bulletins dealing with environmental issues.

Bulletin 35 (Dams and the environment) presents a general matrix of the various impacts of dams on the environment.

Bulletin 37 (Dam projects and environmental success) identifies various solutions to deal with these impacts.

Bulletin 50 (Dams and the environment - note on regional influences) identifies the differences according to climate : temperate, tropical and cold regions.

In addition, Bulletins 65, 66 and 100 provide concrete examples (dams on the Danube and the Inn, reservoirs in Finland and Sweden, the Selingué dam in Mali, the Santee Cooper dam in the USA, the closure of the Zuiderzee in the Netherlands, Ridracoli dam in Italy).

All these Bulletins deal with the entire range of environmental problems. Among other aspects, they examine the impacts on fishlife, providing a qualitative evaluation of such impacts and identifying the precautions that can be taken to reduce or compensate for them.

Finally, Bulletins 86 and 96 deal with very specific themes; the first concerns the socio-economic effects of dams, while the second examines the impact of dams on water quality and climate.

G. GUERTIN  
Chairman,  
Committee on the Environnement

---

# 1. GÉNÉRALITÉS SUR LA FAUNE PISCICOLE

---

Un minimum de connaissance de la faune est nécessaire pour que les constructeurs de barrages puissent travailler en bonne intelligence avec les biologistes compétents dans ce domaine.

Le présent chapitre se propose de donner quelques informations de base.

En tout état de cause, les constructeurs de barrages devront avoir recours aux conseils des spécialistes pour que les problèmes soient convenablement traités.

## 1.1. FACTEURS DÉTERMINANTS DE LA POPULATION PISCICOLE D'UNE RIVIÈRE

Chaque tronçon de rivière abrite une population piscicole spécifique qui s'y établit en fonction de divers éléments caractéristiques : vitesse du courant, profondeur de l'eau, disponibilité en nourriture, nature des fonds et des rives, possibilités de déplacement, régime des eaux et, plus globalement, qualité de l'eau. Toute modification de ces éléments entraîne une modification de la population piscicole. Par exemple, il a été indiqué (Brown 1993) que les barrages dans le bassin de la Colombia (USA) ont produit une augmentation du temps de déplacement, du nombre des prédateurs, et une survie réduite pour les jeunes saumons migrateurs.

**La température de l'eau** est le résultat de la température initiale provenant de l'amont et des échanges thermiques avec l'atmosphère par rayonnement et évaporation. Elle peut être modifiée par le barrage qui, en ralentissant le courant, prolonge l'échange avec l'air ambiant, et, en augmentant la profondeur, peut entraîner une stratification thermique de la retenue. Or, les poissons se développent et se reproduisent dans une gamme relativement étroite de températures. Le changement de celle-ci peut donc entraîner aussi un changement dans les espèces piscicoles fréquentant la rivière.

**La vitesse du courant** peut être fortement modifiée par un aménagement hydraulique. Elle est sensiblement réduite dans les retenues. Elle peut être augmentée dans des tronçons où le débit est majoré. Le changement de vitesse du courant provoqué par la création d'un barrage entraîne une modification de la répartition entre poissons « rhéophiles » ou poissons d'eau vive et poissons « limnophiles » ou poissons d'eau calme. Cependant, il existe aussi des espèces relativement peu sensibles à la vitesse du courant que l'on peut qualifier, à cet égard, d'« ubiquistes » et qui seront peu influencées par le changement du champ de vitesses (Fig. 1) (\*).

**La profondeur de l'eau** joue également un rôle. Certains poissons préfèrent les eaux profondes, d'autres les eaux superficielles. Ce facteur n'est, généralement, pas indépendant d'autres éléments qui caractérisent les zones profondes : vitesse du courant, nature des fonds, température et teneur en oxygène dissous.

---

(\*) Les Figures 1 à 7 sont données à la fin du Chapitre 1 (pages 36 à 45).

---

# 1. GENERAL INFORMATION ON FISHLIFE

---

Dam builders should have a minimum knowledge of fishlife if they are to work effectively with biologists specialised in this area.

The aim of this chapter is to present such information.

In all circumstances, dam builders must rely on expert advice to ensure that the issues are appropriately addressed during dam projects.

## 1.1. FACTORS DETERMINING THE FISHLIFE OF A RIVER

Each reach of a river is home to a specific fish population, which becomes established there because of the different characteristics of the river: speed of current, water depth, nature of the river bed and banks, possibility of movement, regime of the river and, more generally, quality of the water. Any changes in these characteristics will lead to a change in fish populations. For example, Brown (1993) concludes that the biological effects of the dams in the Columbia river basin (USA) include increased travel time and predation, and decreased survival for juvenile salmon outmigrants.

**Water temperature** is determined by the initial temperature from upstream and heat exchanges with the atmosphere through radiation and evaporation. The temperature can be modified by the dam which, by slowing down the current, prolongs the exchange with the ambient air. The increase in depth can result in thermal stratification of the reservoir. Since fish develop and reproduce within a fairly narrow temperature range, any change in this range can also result in a change in the fish species found in the river.

The **speed of the current** can be modified considerably by a hydraulic development scheme. In dam reservoirs, current speed is reduced significantly, while in river reaches, where the flow rate is increased, current speed can be increased. A change in current speed following the construction of a dam leads to a change in the distribution of rheophile or “ flowing-water ” fish, and limnophile or “ calm water ” fish. However, there are also some species of fish which are not very sensitive to current speed. These “ ubiquitous ” species will hardly be affected by the changes in the speed of the current (Fig. 1) (\*).

The **depth of the water** also plays a role. Some fish prefer deep water while others prefer shallow water. This factor is generally related to other factors which characterise deep water zones : current speed, nature of river bottom, temperature and dissolved oxygen content.

---

(\* ) Fig. 1 to 7 are given at the end of Chapter 1 (pages 36 to 45).

**Les disponibilités en nourriture** sont évidemment vitales. Il s'agit du plancton, des insectes vivant sur le fond (faune benthique) ou en surface, des herbiers accrochés sur le fond et les rives, des algues et, bien entendu, des poissons eux-mêmes dont se nourrissent les carnassiers. Cette disponibilité en nourriture dépend de la dérive des éléments provenant de l'amont, de la qualité de l'eau (teneurs en azote et en phosphore) et de la nature des fonds et des rives. Le mode de nourriture dépend de l'âge du poisson; par exemple, les ayu juvéniles (*plecoglossus altivelis*) très appréciés au Japon, se nourrissent de zooplancton en mer, et, lorsqu'ils deviennent adultes et remontent les rivières, ils broutent les végétaux sur les galets.

**La nature des fonds et des rives** intervient dans la mesure où ils constituent un terrain propice ou non au développement de la végétation aquatique et à la vie de la faune benthique. Les fonds rocheux massifs sont peu favorables à cet égard. Cependant, les enrochements en vrac, notamment sur les rives, peuvent être intéressants en fournissant des abris favorables. Les fonds sableux ou graveleux sont généralement les plus propices. Ces fonds sont déterminants, non seulement pour la nourriture, mais encore pour la reproduction des poissons. De nombreuses espèces collent leurs œufs sur la végétation aquatique. Les zones de frayères se localisent pour chaque espèce dans des milieux bien spécifiques de nature et de granulométrie adéquates.

**Le besoin de migration** est un autre facteur qui doit intéresser le constructeur de barrages car ceux-ci constituent un obstacle au déplacement des poissons. Ce besoin est particulièrement évident pour les poissons qui viennent de mer pour frayer en rivière (poissons « potamotoques » ou « anadromes » tels que saumons ou esturgeons), ou pour les poissons de rivière qui vont frayer en mer (poissons « thalassotoques » ou « catadromes » tels que les anguilles), ou pour quelques espèces, telles que l'ayu, qui migrent en mer non seulement pour se reproduire mais aussi pour se nourrir. En outre, certains poissons de rivière (poissons potamodromes) éprouvent le besoin d'effectuer des déplacements importants pour rechercher des lieux de frai distincts de leurs lieux normaux de nourriture. Ce sont, par exemple, la truite, le barbeau, le hotu, la vandoise qui remontent le cours des rivières afin de pondre sur des bancs de galets propres en eaux vives. Il y a lieu de noter que les espèces migratoires sont parmi les plus vulnérables à la construction de barrages et leur biomasse peut quelque fois dépasser celle des espèces résidentes.

Dans les rivières tropicales, particulièrement en Asie, de nombreuses espèces migrent très loin à l'amont au début de la saison des pluies pour se nourrir et se reproduire dans des zones récemment inondées. Les dévalaisons dans le chenal principal au début de la saison sèche sont aussi un aspect important du phénomène migratoire.

L'étude des migrations amène à acquérir la connaissance des habitats d'origine et de destination, l'itinéraire suivi par la migration, l'âge des poissons concernés et la période dans leur cycle vital.

À titre d'exemple, voici le cycle de vie du saumon atlantique :

- ponte des œufs à l'automne sur des graviers de rivière en eaux courantes peu profondes,
- éclosion en avril; les alevins s'enferment dans les graviers pendant cinq à six semaines,

The **availability of food** is obviously of vital importance. This is found in the form of plankton, insects living on the river bottom (benthic fauna) or at the surface, water grasses found on the river bottom or the banks, algae and, of course, fish which provide food for carnivorous species. Food availability depends on the elements arriving in the section of the river from upstream, on the quality of the water (nitrogen and phosphorous contents) and on the nature of the river bottom and banks. Feeding habits differ with the age of the fish. For example, young ayu (*plecoglossus altivelis*), which are highly appreciated in Japan, feed on zooplankton in the sea and when they reach adulthood swim up rivers to browse in plant communities growing among the pebbles.

The **nature of the river bottom and the banks** determines the development of water plants and benthic fauna. Solid, rocky bottoms are not conducive to such development, whereas loose rocks, especially on river banks, can provide the shelter required by certain fish. Sandy or gravelly bottoms are generally more propitious to the development of fishlife. The type of bottom plays an essential role in terms of feeding and reproduction. Many fish species lay their eggs on aquatic vegetation. Each species requires a particular type of spawning ground with gravel or sand of a specific grain size.

The **need to migrate** is another very important factor to be considered by the dam builder since dams constitute an obstacle for migrating fish. The need is particularly marked for fish which come from the sea to spawn in the rivers (anadromous fish such as salmon and sturgeon) or, for fish which go to spawn in the sea (catadromous fish such as eels). A few species such as the ayu migrate to the sea not only to reproduce but also to feed. In addition, certain fish species migrate over considerable distances to find spawning grounds which are distinct from their normal feeding grounds. Examples of such fish are the trout, barbel, nose carp and dace, which all migrate up rivers to lay their eggs on clean pebble banks in running water. It should be pointed out that riverine migratory fish species are among the most vulnerable in relation to dam construction, and their biomass may far exceed that of resident species.

In tropical rivers, particularly in Asia, many species migrate long distances upstream at the beginning of the rainy season to feed and reproduce on newly flooded areas. Downstream migrations to the main channel at the beginning of the dry season are also important migration patterns.

The study of migration includes aspects such as knowledge of habitats, migration routes, age class of the species, and periodicity during the life cycle.

By way of example, this is the cycle of the Atlantic salmon:

- eggs laid in the autumn on gravel in shallow running river water,
  
- eggs hatch in April; the fry hide in the gravel for 5 - 6 weeks,

- fin mai, début juin, les alevins sortent et s'alimentent de faune benthique dans les zones peu profondes et de courant faible,
- à la fin de l'été, ils mesurent environ 5 cm; on les appelle Tacons. Ils gagnent les zones d'eaux vives,
- après 2 ou 3 ans dans la rivière, ils mesurent environ 15 cm; on les appelle Smolts; ils dévalent la rivière après la crue de printemps et rejoignent la mer,
- en mer, où ils passent un à 3 ans, ils grossissent rapidement; ils peuvent atteindre 60 cm après un an,
- ils retournent à leur rivière d'origine au printemps, cessent de s'alimenter et remontent la rivière pour retrouver leur lieu de naissance; les femelles creusent dans les graviers peu profonds, en eau courante, des nids de 10 à 20 cm de profondeur et pondent (8 000 œufs pour une femelle de 4,5 kg) puis elles recouvrent leurs œufs de graviers,
- après le frai, les saumons atlantiques, contrairement aux saumons du Pacifique, ne meurent pas; ils se réfugient dans des fosses et dévalent la rivière au printemps pour un nouveau cycle de reproduction.

Dans ce cycle, il y a une mortalité considérable (prédation, température, conditions hydrologiques, maladies) et les 8 000 œufs d'origine peuvent ne donner que 500 alevins, puis 300 tacons, puis 50 smolts et enfin 4 saumons géniteurs.

**Le régime des eaux**, c'est-à-dire la répartition du débit dans le temps (crues et étiages), est aussi un facteur de définition de la population piscicole. En effet, chaque espèce a son rythme propre pour sa reproduction, son mode de nourriture et ses migrations (Fig. 2). Ce rythme peut être favorisé ou contrarié selon qu'il correspond bien ou mal avec le rythme d'évolution du débit de la rivière au fil des saisons, et les barrages ont le plus souvent pour effet de modifier le débit de la rivière à certaines périodes de l'année. En outre, comme on le précisera ci-après (1.3), les inondations de la plaine alluviale, hors les périodes paroxystiques, sont très favorables à la production piscicole.

## 1.2. QUALITÉ DES EAUX

La qualité des eaux est un facteur tout à fait essentiel à la vie des poissons et mérite un développement particulier. Elle s'exprime par des paramètres chimiques, physiques et biologiques auxquels il y a lieu d'associer la température qui a été évoquée ci-dessus.

Le facteur chimique le plus important est **la teneur en oxygène dissous** qui s'exprime en valeur absolue (nombre de mg/l) ou relative par rapport à la saturation (%); en valeur absolue, elle varie dans une gamme de 0 à plus de 15 mg/l en cas de prolifération algale (Fig. 3).

Certains poissons ont besoin d'une quantité d'oxygène élevée (truite et saumon : 7 mg/l au minimum), d'autres se contentent d'une valeur plus faible (pour de nombreux cyprinidés : 5mg/l). Généralement, on considère qu'une teneur en oxygène inférieure à 2 ou 3 mg/l est létale pour les poissons d'eau calme. Cependant, ces indications doivent être nuancées en fonction de la durée d'exposition.

- at the end of May or beginning of June, the fry emerge and feed on benthic fauna in shallow water where there is a slow current,
- at the end of the summer, they measure about 5 cm and are referred to as parr; at this stage they begin to emerge into fast-flowing water,
- after 2 - 3 years in the river, they measure about 15 cm and are referred to as smolt; they swim downstream after the spring flood and out to sea,
- they spend up to three years in the sea, growing rapidly; they may already measure 60 cm at the end of the first year,
- they then return to their home river in the spring, stop eating and swim back up-river to the place where they were born; the females dig nests 10 - 20 cm deep in the shallow gravel in running water and lay their eggs (up to 8 000 for a 4.5 kg female), which they then cover with gravel,
- unlike Pacific salmon, Atlantic salmon do not die after the spawning season; they take refuge in underwater depressions and swim downstream again in the spring, to start another reproductive cycle.

The mortality rate in this cycle is extremely high due to predation, temperature, hydrological conditions and sickness, and the original 8 000 eggs may produce only 500 fry, then 300 parr, 50 smolt and 4 reproductive salmon.

The **regime of the river**, that is the distribution of the flow over time (floods and low water periods) is also a factor which helps determine fish populations. In fact, each species has its own particular rhythm with respect to reproduction, feeding habits and migration (Fig. 2) . This rhythm may be disturbed if it does not correspond to the changes in the flow rate of the river over the seasons. A dam will generally lead to a modification in the flow rate of the river at certain times of the year. Furthermore, as indicated later (1.3), flooding of alluvial plains, except during extreme episodes, is highly favourable to fish production.

## 1.2. WATER QUALITY

Water quality is obviously of the utmost importance to fishlife and this topic therefore deserves to be dealt with in depth. Quality may be expressed in terms of chemical, physical or biological aspects, with temperature also playing a role, as mentioned above.

The most important chemical characteristic is the **dissolved oxygen content**, which is expressed as an absolute value (mg/l) or a relative value (% in relation to saturation). As an absolute value, it varies from 0 to more than 15 mg/l in the case of a proliferation of algae (Fig. 3).

Certain fish need a high level of oxygen (trout and salmon need a minimum of 7 mg/l), while others have lower requirements (many cyprinids : 5 mg/l). It is generally considered that an oxygen content of less 2 or 3 mg/l is lethal for calm water fish. However, these figures will differ depending on the length of time the fish are exposed to the conditions.



En valeur relative, le taux d'oxygène dissous peut dépasser 100 % pendant le jour dans le cas de forte présence de végétation aquatique (herbiers, algues) et de forte activité chlorophyllienne. À l'inverse, pendant la nuit, les végétaux consomment de l'oxygène mais n'en produisent plus et la teneur en oxygène dissous baisse. En outre, la teneur en oxygène dissous peut dépasser 100 % dans le cas de fortes turbulences entraînant de grandes quantités de bulles d'air dans l'eau (par exemple, au pied d'un évacuateur de crue, il peut y avoir sursaturation en oxygène et aussi en azote). De même qu'une trop faible quantité d'oxygène est dangereuse, de même une forte concentration en oxygène peut induire des effets secondaires dommageables pour les poissons. L'excès d'azote peut, quant à lui, provoquer une embolie gazeuse.

**La teneur de l'eau en chlorure de sodium** est aussi un facteur très important pour les poissons puisqu'elle détermine le partage entre espèces d'eaux douces et marines. La teneur en sel des eaux de mer est de l'ordre de 35 g/l. Les eaux douces sont considérées comme convenables lorsque la teneur en chlorure de sodium ne dépasse pas 1 g/l.

La prolifération des algues, du plancton et des macrophytes est liée à la présence excessive de **phosphates et de nitrates dans l'eau**. Une absence entraîne un manque de nourriture pour les poissons. Une abondance excessive entraîne l'eutrophisation qui est nuisible spécialement pour les salmonidés car elle entraîne une faible valeur d'oxygène dissous et un pH trop élevé.

On classe, de ce point de vue, les eaux douces de la manière suivante (système d'évaluation de la qualité des eaux préconisé en France et inspiré des directives européennes).

Qualité de l'eau	Teneur maximale en phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	Teneur maximale en nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )
Très bonne	< 0,1 mg/l	< 2 mg/l
Bonne	< 0,5 mg/l	< 10 mg/l
Passable	< 1 mg/l	< 25 mg/l
Mauvaise	< 2 mg/l	< 50 mg/l
Très mauvaise	> 2	> 50

Cependant, dans un lac ou une retenue, l'eutrophisation est aussi conditionnée par la profondeur de la retenue, le temps de renouvellement des eaux et la pente des rives. Les teneurs en phosphates admissibles pour une classe donnée sont, de ce fait, inférieures à celles qui sont définies ci-dessus pour une rivière.

Un réservoir oligotrophe aura une biomasse piscicole faible (quelques kilogrammes par hectare). Un réservoir eutrophe peut avoir une productivité très forte (plus de 100 kg par hectare). À l'inverse, un réservoir hypereutrophe aura peu de poissons à cause du faible taux d'oxygène dissous résultant de l'eutrophisation.

Bien entendu, la pollution des eaux ne se limite pas à une teneur élevée en nitrates et phosphates. Elle résulte aussi des éléments toxiques déversés dans les

As a relative value, the dissolved oxygen content may exceed 100 % during the day where there is an abundance of aquatic vegetation (plant communities, algae) and strong chlorophyllian activity. At night, on the other hand, vegetation consumes more oxygen than it produces and the dissolved oxygen content decreases. Moreover, the dissolved oxygen content may exceed 100 % when there is strong turbulence which results in a large quantity of air bubbles entering the water (at the foot of a flood spillway, for example, there may be supersaturation of oxygen and also of nitrogen). In the same way that an insufficient quantity of oxygen is dangerous, a very high concentration of oxygen may induce secondary effects detrimental to the health of the fish. An excess of nitrogen can lead to an air embolism in fish.

**The sodium chloride content of water** is also a very important factor affecting fishlife since it determines the difference between fresh water and sea water species. The salt content of sea water is about 35 g/l. Fresh water is considered suitable provided the salt content does not exceed 1 g/l.

The proliferation of algae, plankton and macrophytes is linked to excesses of **phosphates and nitrates in the water**. Their absence results in a shortage of food for the fish. An overabundance causes eutrophication, which is harmful, mainly to salmonids, in that it results in low dissolved oxygen values and excessive pH.

In this respect, fresh water is divided into the following categories (system of evaluation of quality of waters used in France following european rules) :

Quality of water	Maximum phosphate content (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	Maximum nitrate content (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )
Very good	< 0.1 mg/l	< 2 mg/l
Good	< 0.5 mg/l	< 10 mg/l
Tolerable	< 1 mg/l	< 25 mg/l
Bad	< 2 mg/l	< 50 mg/l
Very bad	> 2	> 50

However, in a lake or reservoir, eutrophication is also conditioned by the depth of the reservoir, the time taken to renew the water and the slope of the banks. The permissible phosphate contents for a given category are therefore lower than those values given above for rivers.

An oligotrophic reservoir will have a low fish biomass (a few kilograms per hectare), while the productivity of a eutrophic reservoir might be very high (over 100 kg per hectare). On the other hand, a hypereutrophic reservoir will have very few fish because of the low dissolved oxygen content resulting from eutrophication.

Pollution of water is obviously not limited to phosphate and nitrate contents. It also comes from toxic elements poured into the river. For instance, we can quote

rivières, tels que les métaux lourds (plomb, cadmium, mercure, zinc) et certains composés organiques provenant des rejets industriels et agricoles. À titre d'exemple, on donne ci-après les limites préconisées par l'Union Européenne pour ce type de pollution.

Teneur en éléments toxiques	Qualité de l'eau				
	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
Matières organiques oxydables DBO5 (mg/lO <sub>2</sub> )	< 3	< 6	< 10	< 25	> 25
Mercure (µg/g) (sur bryophytes)	< 0,15	< 0,30	< 0,85	< 1,7	> 1,7
Plomb (µg/g) (sur bryophytes)	< 27	< 55	< 165	< 330	> 330
Benzène (µg/l)	< 1	< 3	< 5	< 10	> 10
PCB (µg/l)	< 0,001	< 0,01	< 2	< 2,4	> 2,4

**La relation pH/alcalinité** et le pouvoir tampon des eaux est aussi un facteur important pour la productivité piscicole.

**La teneur en matières en suspension** est un caractère physique important de la qualité de l'eau. Elle s'élève à l'occasion des pluies qui érodent le bassin versant. Le réservoir du barrage, s'il est important, piège les sédiments et le barrage restitue à l'aval des eaux claires.

Cependant, à l'occasion des vidanges de fond, ou même de demi-fond, le barrage peut restituer à l'aval des eaux très chargées. De même, à l'occasion de la construction du barrage, les terrassements en rivière peuvent faire croître localement la teneur en sédiments. Une forte teneur en matériaux en suspension est nuisible pour les poissons, elle réduit la pénétration de la lumière et elle gêne leur respiration en obstruant les branchies. D'autre part, certaines espèces ne vivent bien qu'en eaux claires (truites) alors que d'autres sont peu sensibles, voire se complaisent sur des fonds vaseux (carpes). La teneur en matières en suspension peut atteindre, dans les cas extrêmes, des valeurs de l'ordre de plusieurs dizaines de grammes par litre. Pour les poissons sensibles, il est souhaitable qu'elle ne dépasse pas 25 mg/l pendant plusieurs jours.

À l'amont de la retenue, les sédiments se déposent et forment des zones marécageuses qui peuvent être intéressantes pour la faune aviaire, mais qui peuvent être aussi nuisibles si les sédiments comportent une forte concentration de micro-polluants.

On considère, en outre, généralement **la qualité biologique du milieu**, c'est-à-dire sa richesse en espèces vivantes, végétales ou animales. Ce critère est un élément intégrateur qui résume la qualité physico-chimique, le taux de pollution, la nature des fonds, la vitesse des écoulements, etc. Il est calculé à partir de l'analyse de la faune benthique et s'exprime, en France, par un indice biologique global normalisé (IBGN).

Cet indice est calculé à partir de huit prélèvements de faune benthique réalisés dans huit habitats différents qui fournissent la diversité faunistique. Celle-ci et le

some elements, such as heavy metals (lead, cadmium, mercury or zinc) and certain organic compounds derived from industrial and agricultural discharges. By way of example, the following are the limits recommended by the European Union for this type of pollution.

Toxic elements content	Quality of water				
	Very good	Good	Tolerable	Bad	Very bad
Organic oxydizable matters DBO5 (mg/IO <sub>2</sub> )	< 3	< 6	< 10	< 25	> 25
Mercury (µg/g) (on aquatic plants)	< 0.15	< 0.30	< 0.85	< 1.7	> 1.7
Lead (µg/g) (on aquatic plants)	< 27	< 55	< 165	< 330	> 330
Benzene (µg/l)	< 1	< 3	< 5	< 10	> 10
PCB (µg/l)	< 0.001	< 0.01	< 2	< 2.4	> 2.4

**The pH/alkalinity ratio** and damping capacity of the water are also important factors for fish productivity.

The **amount of suspended matter** is an important physical characteristic with respect to water quality. The content increases when rain erodes the catchment basin. If the reservoir is large, it will trap the sediment, with the result that the water downstream of the dam will be clear.

However, when the reservoir is emptied or partially emptied, the water downstream of the dam may have a very high sediment load. Similarly, during dam construction, terracing works in the river may cause local increases in sediment content. A high sediment content is harmful to fish, since it reduces light penetration and the sediment obstructs the gills of the fish and hinders their breathing. Some species are only found in clear water (trout), while others, such as the carp, are much less sensitive and delight in silty river beds (carp). In extreme cases, suspended matter content can reach values as high as several tens of grams per litre. For sensitive fish, the suspended matter content should ideally not exceed 25 mg/l over a period of several days.

In the upstream part of reservoirs, suspended matter is deposited and creates marshy areas which can be very useful for birds, but also harmful if the sediments are polluted.

Consideration must be given to the **biological quality of the environment**, that is the wealth of its plant and animal life. This criterion reflects a number of different factors, such as the physico-chemical quality of the environment, the pollution level, the nature of the bottom and the speed of flow. It is calculated on the basis of an analysis of benthic fauna and is expressed, in France, by a standardised global biological index (SGBI).

This index is calculated in the following way: eight samples of the benthic fauna taken from eight different habitats provide a diversity of fauna and a level of

niveau de polluo-sensibilité sont reportés dans une matrice, qui permet de définir une note entre 0 et 20 illustrant le degré de pollution et/ou d'altération du milieu.

La technique d'échantillonnage et le calcul de cet indice sont définis dans la norme française NFT 90 350.

D'autre part, un indice macrophytique, récemment élaboré et basé sur la diversité des phanérogames, permet de traduire le niveau d'eutrophisation des cours d'eau.

L'utilisation de tels index se développe dans différents pays. Par exemple, au Canada, un effort important a été déployé pour caractériser la qualité de l'environnement des affluents du Saint-Laurent à partir des populations benthiques et piscicoles. En Norvège, les macro-invertébrés (insectes) ont été utilisés pour établir un index qui permet de définir le stade d'acidification des rivières provoqué par les pluies acides.

D'une manière générale, il faut prendre garde au fait que les indices biologiques définis pour les rivières ne sont pas adaptés aux lacs et aux réservoirs qui nécessitent des indices spécifiques.

### **1.3. CLASSIFICATION DES RIVIÈRES**

Les différents facteurs déterminants du peuplement piscicole, tels qu'ils sont rapidement évoqués ci-dessus, ne sont pas indépendants. Ils réagissent les uns sur les autres.

C'est ainsi que la vitesse du courant détermine le transport solide et donc la nature des fonds. Elle favorise, en outre, par les turbulences qu'elle engendre, l'absorption d'oxygène de l'air.

De même, le débit définit les champs de vitesse et les profondeurs. Il facilite ou non les échanges thermiques avec l'air et a ainsi une grande influence sur la température de l'eau.

Globalement, il est possible d'établir une typologie des rivières qui définit différents tronçons caractérisés chacun par un ensemble de valeurs des paramètres auquel est associé un peuplement piscicole déterminé. On peut, ainsi, rapidement avoir une idée sommaire de cette population avant de l'avoir dénombrée et analysée par des pêches.

C'est ainsi qu'une rivière théorique dont le profil en long s'adoucirait régulièrement de la source à la mer présenterait successivement des habitats différents dont chacun serait le siège d'un peuplement piscicole particulier. Naturellement, il peut y avoir des ruptures de pente dues à des barres rocheuses qui perturbent cette ordonnance des milieux et, par la dérive des espèces, compliquent ce schéma théorique.

Ce zonage écologique peut être basé sur des paramètres physico-chimiques et/ou biologiques (espèces dominantes d'invertébrés ou de poissons). Différents zonages longitudinaux des rivières ont été ainsi proposés, notamment par Huet

sensitivity to pollution which, when transferred to a matrix, can be used to obtain a score between 0 and 20 to reflect the degree of pollution and/or alteration of the environment.

The sampling technique and the method of calculation of the above index are defined in French standard NFT 90 350.

A macrophytic index, developed recently and based on the diversity of Phanerogamia, is used to measure the eutrophication level of rivers.

There are major developments in this field in different countries and the use of indexes should increase in the future. In Canada, for instance, a great effort was made to develop various indexes to express the quality of the environment in the Saint-Laurent river tributaries, using fish as well as benthic communities. In Norway, macro-invertebrates (insects) have been used to develop an index for rivers to indicate the degree of acidification due to acid rains.

Generally speaking, however, biological indexes designed for rivers are not suitable for lakes and reservoirs, which need specific indexes.

### **1.3. CLASSIFICATION OF RIVERS**

The various factors mentioned briefly above which determine the fish populations of rivers are interdependent, each one affecting the other.

Thus, the speed of the current determines the solid transport and, consequently, the nature of the river bed. The current creates turbulence, which in turn promotes oxygenation.

Similarly, the river's flow rate determines the range of current speeds and the depth of the water. It can promote or hinder heat exchanges with the air and thus has a major influence on the temperature of the water.

In general, rivers can be classified by defining the different reaches in terms of a set of values for the parameters associated with a specific fish population. It is thus possible to have a simplistic idea of the fishlife in a river even before analysis and assessment through fishing.

In theory, a river with a longitudinal profile which gets gentler and gentler from the source to the sea would comprise successive types of habitat. Each of them would have its own specific fish population. Naturally, the slope might be broken by rocky shelves which interfere with this order and the theoretical chart would then be complicated by the fact that the different species would no longer be found only in certain reaches of the river.

This ecological zoning may be based on physico-chemical and/or biological parameters (dominant species of invertebrates or fish). Various longitudinal zonings of rivers have been proposed, in particular by Huet (1959), Illies (1962), Cummins

(1959), Illies (1962), Cummins (1973), Holcik et Hensel (1972). Les Figures 4 et 5 donnent l'exemple de la classification de Huet, l'une des plus utilisées en Europe occidentale.

D'une manière générale, il y a eu une augmentation du nombre des espèces de l'amont à l'aval des rivières. En outre, le nombre d'espèces croît avec la taille et la longueur de la rivière. Cela résulte de la diversité d'habitats qui caractérise les grands cours d'eau, particulièrement au niveau de leur plaine alluviale. Cette diversité est due aux différents types de contacts terre-eau qui existent tant dans le chenal que dans la plaine alluviale dans son ensemble. Elle est également fonction des connections existantes entre les divers milieux aquatiques et l'hydrosystème fluvial. Ces connections varient non seulement dans l'espace mais aussi dans le temps.

La biomasse et la production de poissons et des invertébrés sont bien plus élevées dans les milieux aquatiques de la plaine d'inondation que dans le chenal du fleuve.

Les variations de débit qui entraînent une alternance d'émersions et d'immersions de la plaine alluviale favorisent l'établissement de frayères et permettent un recyclage rapide de la matière organique et des nutriments, d'où une production piscicole globale plus élevée que celle que présenterait un milieu aquatique totalement stagnant.

#### **1.4. MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA POPULATION PISCICOLE**

Il ne suffit pas cependant d'avoir une idée générale de la population piscicole de chaque tronçon d'une rivière pour pouvoir apprécier correctement l'impact d'ouvrages fluviaux et s'assurer de l'efficacité des mesures compensatoires; il faut évaluer très précisément cette population grâce à des pêches systématiques : la pêche électrique et la pêche au filet, auxquelles il faut adjoindre un processus d'analyse statistique. On développe, en outre, des méthodes par écho-sondeurs. Cependant ces méthodes ne sont pas encore fiables pour la détermination des espèces.

**La pêche au filet** utilise divers types de filets afin de prospecter des habitats différents. On distingue les filets à poste fixe (araignée de fond ou araignée de surface, selon le système de plombage du filet) et les filets dérivants. Les premiers permettent de capturer les poissons séjournant en eaux courantes et dans les lacs. Ces filets sont principalement mis en place une nuit complète. Les mailles utilisées sont comprises entre 8 et 60 mm. Les mailles serrées permettent de réduire le caractère sélectif de ce mode de capture en récoltant des poissons adultes de petite taille (ablette, goujon) aussi bien que des juvéniles et des adultes de grande taille (carpe, brochet). Les filets dérivants sont utilisés dans les grands lacs et essentiellement dans la zone pélagique.

Une mention particulière doit être faite au sujet des filets verticaux. Particulièrement adaptés à l'exploration des lacs de retenue, ces filets, de faible largeur (2 m) et de hauteur modulable (de 0,50 m à 100 m), présentent des avantages sensibles par rapport aux filets traditionnels. Ils sont d'une grande

(1973), Holcik and Hensel (1972). Figures 4 and 5 give examples of Huet's classification, which is one of the most widely used in western Europe.

Generally speaking, the number of species in a river increases in a downstream direction. In addition, the number of species increases with the size and length of the river. This results from the number of habitats that characterise major rivers, particularly in the sections running through their alluvial plains. This diversity is due to the different types of land-water contact points that exist in the channel and in the alluvial plain as a whole. It also depends on the existing connections between the various aquatic environments and the river's hydrosystem. These connections vary in both space and time.

The biomass and production of fish and invertebrates are much higher in the aquatic environments of the flood plain than in the river channel.

Variations in discharge that produce alternating periods of submersion and exposure in the alluvial plain encourage the formation of spawning grounds and quickly recycle organic matter and nutrients, resulting in higher overall fish production than is the case in a totally stagnant aquatic environment.

#### **1.4. METHODS OF ASSESSING THE FISH POPULATION**

It is not sufficient to have a general idea of the fish population of each reach of a river in order to make a correct assessment of the impact of river structures and to ensure the effectiveness of compensatory measures. The fish population has to be properly estimated through systematic electric fishing and net fishing, used in conjunction with statistical analysis techniques. In recent years, new methods using ultrasonic techniques have also been developed. However, these are not yet reliable for species determination.

**Net fishing :** Different types of nets are used to examine different habitats. For example, fixed bottom gill-nets or surface gill-nets, depending on the way in which the net is set up, may be distinguished from drift nets. Fixed nets are used to catch fish which live in running water and lakes. Fixed nets are usually left in place for a complete night. The meshes used are between 8 and 60 mm. Fine-mesh nets make it possible to reduce the selective character of this method of fishing by catching small adult fish (bleak, gudgeon) as well as large young and adult fish (carp, pike). Drift nets are generally used in great lakes, especially in pelagic areas.

Vertical nets are worthy of special mention. These nets, which are particularly suited to lakes and reservoirs, are not very wide (2 m) and of adjustable height (0.50 m to 100 m). They have a number of advantages compared with traditional nets. They are easy to handle and provide a sample of the entire section of water.



maniabilité et échantillonnent toute la tranche d'eau. L'effort de pêche unitaire est constitué d'une batterie de 6 filets disposés sur un poste déterminé pendant 24 h. Auparavant, l'espace lacustre doit avoir été divisé en compartiments basés sur l'analyse des profondeurs et de la nature des fonds, ce qui permet d'établir une cartographie des pôles d'attraction du lac pour les poissons.

**La pêche électrique** est exécutée en créant, entre deux électrodes reliées à un générateur, un champ électrique dans lequel le poisson réagit par nage forcée quand les réglages électriques sont correctement réalisés; il se déplace en direction de l'électrode positive et est alors capturé. La prospection s'effectue sur un ensemble de stations, dont le nombre est fonction de l'hétérogénéité du cours d'eau, l'objectif étant de capturer un maximum d'espèces et de spécimens dans des classes de tailles différentes.

Ces pêches permettent d'établir, espèce par espèce, la biomasse et les prises par unité d'effort. Leurs valeurs se stabilisent après répétition des pêches. Elles donnent, ainsi, une abondance relative de l'espèce dont on peut penser qu'elle est proportionnelle à l'abondance de l'espèce dans le peuplement étudié.

**Le repérage par sondes à ultrasons** est intéressant car il permet d'avoir une appréciation globale de la population piscicole présente dans un plan d'eau et de ses mouvements. La difficulté est dans l'analyse des échos : il faut, en effet, pouvoir identifier l'espèce en fonction de la forme de l'écho (ce qui ne semble pas possible actuellement) et il faut également apprécier la taille du poisson en corrigeant l'effet de distance. Il serait intéressant de développer ces méthodes d'analyse pour tirer le meilleur parti de cette technique.

**Le dépouillement statistique** permet de caractériser le peuplement par les paramètres suivants :

- *le nombre d'espèces différentes* récoltées permet d'avoir une première idée de la richesse de ce peuplement,
- *les classes de tailles* renseignent sur les conditions de recrutement annuel,
- *l'estimation de la biomasse* par mètre linéaire de berge ou par mètre carré de rivière dans le cas de la pêche électrique ou par mètre carré de filet de pêche donne une expression quantitative de la présence de poissons par km de rivière ou par ha de retenue (Fig. 6).
- *l'indice de diversité* permet de caractériser l'état de complexité de la répartition quantitative des diverses espèces de l'échantillon inventorié.

L'indice le plus utilisé est l'indice de Shannon et Weaver (1949) qui est calculé de la manière suivante :

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

avec S = nombre d'espèces,  $p_i$  = abondance relative de chaque espèce.

On considère que des valeurs de cet indice proches de 3 expriment une excellente diversité.

D'une manière générale, une difficulté importante dans l'évaluation de la population piscicole résulte de l'extrapolation qu'il faut faire entre les dénombrements issus de la pêche au filet ou de la pêche électrique et la population

Each fishing operation involves a set of several nets fixed in place for 24 hours. Beforehand, the lake area is divided into compartments on the basis of an analysis of the depths and the nature of the bottom, information which is used to determine centres of attraction for the fish.

**Electric fishing** involves creating an electrical field between two electrodes linked to a generator. A fish coming within this field is affected and moves in the direction of the positive electrode and is then caught. Such operations take place at a number of stations, the exact number depending on the heterogeneity of the river, so that a maximum number of species and specimens can be caught in different specific size categories.

These techniques are used to determine, for each species, the fish biomass density and the number of fish caught per operation. The relative abundance of the species caught is then assumed to be proportional to the abundance of the species in the fish population being studied.

**Identification by means of sensor techniques** is interesting since it provides an overall assessment of the fish population and their movements in a body of water. The difficulty lies in analysing the sound wave: the species has to be identified by the nature of the echo (which appears not to be possible at present) and the size of the fish has to be estimated by correcting the distance effect. It would be interesting to develop these analysis methods so as to make the best use of this particular technique.

**Statistical analysis** is used to identify the fish communities by means of the following parameters :

- The *number of different species* caught provides an indication of the richness of the fish population.
- The *different sizes* provide information on annual recruiting conditions.
- The *estimated biomass* per linear metre of river bank or square metre of river in the case of electric fishing or per square metre of fishing net provides a quantitative expression of fish presence per km of river or per ha of reservoir (Fig. 6).
- The *diversity index* is used to express the complexity of the quantitative distribution of the various species of the sample inventoried.

The most commonly used index is that of Shannon and Weaver (1949) which is calculated as follows:

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

where S = number of species,  $p_i$  = relative abundance of each species.

Values for this index which are in the region of 3 are considered to be indicative of an excellent diversity.

In general, a major problem with regard to assessing the fish population concerns extrapolation, which has to be carried out between the counts from net fishing or electric fishing and the overall fish population in the lake or river

globale présente dans le plan d'eau. Il faut, notamment, que l'effort de pêche soit défini par un protocole précis qui assure une stabilisation des résultats après répétition de cet effort de pêche. Il faut, le plus généralement, combiner l'ensemble des méthodes pour recouper les informations et combler leurs lacunes respectives. Il faut aussi procéder à plusieurs évaluations dans l'année afin de tenir compte des saisons. En général, des mesures sont nécessaires au printemps, en été et en hiver.

Enfin, pour avoir une bonne connaissance de la faune piscicole, il ne suffit pas de la dénombrer, il est souhaitable également de procéder à la recherche et au recensement des frayères et, plus généralement, à l'examen de son habitat. Ceci se fait par examen visuel de la rivière. Contrairement aux techniques d'échantillonnage de la population piscicole, il n'y a pas, pour l'inventaire des frayères, de protocole bien établi qui recueille l'accord des spécialistes.

## **1.5. QUELQUES POISSONS CARACTÉRISTIQUES**

Pour connaître l'influence des barrages sur le peuplement piscicole, il est nécessaire de connaître le mode de vie et les performances physiques des poissons.

Certaines espèces ont fait l'objet d'études approfondies de la part des spécialistes, d'autres sont mal connues et il existe encore un large champ d'études nécessaires pour avoir une bonne connaissance de la faune piscicole.

À titre d'exemple, on donne, dans la Figure 7, quelques éléments relatifs à certains poissons relativement bien connus. Il s'agit d'indications très sommaires dont le mérite principal est d'attirer l'attention sur les éléments dont il faut disposer pour apprécier l'impact du barrage.

La taille des adultes est utile pour le dimensionnement des grilles et des passes à poissons.

La sensibilité à la vitesse du courant, à la pollution, à la température, ainsi que la connaissance du mode de nourriture et de reproduction permettent d'évaluer les impacts de la création d'un réservoir et de définir les mesures compensatoires.

La période de reproduction est nécessaire pour définir le mode de gestion dans le temps.

La vitesse de nage est indispensable pour définir correctement les ouvrages de franchissement de chute.

Les dates et modes de migrations sont évidemment nécessaires pour élaborer les mesures permettant d'assurer le maintien des espèces concernées dans la rivière aménagée.

concerned. In particular, the fishing operation has to be defined by a clear protocol to ensure that results are stabilised when this operation is repeated. More generally, all the methods should be used together to cross-check information and fill in any gaps in the results. Several assessments must also be made in the same year so as to take into account the different seasons. As a general rule, fish populations should be measured in spring, summer and winter.

Finally, in order to acquire a thorough knowledge of the fish stock, it is not enough to just count the fish; their breeding grounds and, more generally, their habitat should be identified and recorded. This can be done through a visual examination of the river. Unlike sampling techniques, a protocol for identifying breeding grounds has never been established and agreed upon by specialists in this field.

### **1.5. SOME TYPICAL FISH**

In order to determine the effects of dams on fish communities, something must be known of the lifestyle and physical performance of fish.

Some species have been studied in detail by specialists, while little information is available for others. A great deal of progress still has to be made for numerous species.

By way of example, some information on certain relatively well-documented fish is given in Figure 7. This information is not detailed, its main purpose being to draw attention to the type of data which must be available in order to assess the impact of a dam.

The size of the adult fish is useful for sizing fish passes and screens.

Information on sensitivity to current speed, pollution and temperature as well as feeding and breeding methods can be used to assess the impact of a dam reservoir and help define compensatory measures.

Knowledge of the reproduction period is needed to determine management methods over time.

The speed at which the fish swim must be known in order to be able to design the fish pass structure properly.

Finally, the times and methods of migration must obviously be known so as to ensure that the species concerned are maintained in the developed river.

## 1.6. BIBLIOGRAPHIE/BIBLIOGRAPHY

- 1 AMOROS et PETS 1993 – 297 pages Hydrosystèmes fluviaux - Collection d'écologie - Masson - France
- 2 BARBIER 1985 - 9 pages Les techniques de captures. Engins passifs : les filets maillants. Gestion piscicole des lacs et retenues artificielles - INRA - France
- 3 BELL 1986 - 290 pages Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria - Chapters 1 to 23, 29 and 35 - US Corps of Engineers, USA.
- 4 Davis TEIRNEY 1987 - 26 pages Fish and fisheries. Aquatic biology and hydroelectric power development in New-Zealand. - Oxford University Press
- 5 DEGIORGI, GUILLARD, GRANMOTTET, GERDEAUX 1993 - 15 pages Les techniques d'étude de l'ichtyofaune lacustre utilisées en France : bilan et perspectives - Hydroécologie appliquée Tome 5 volume 2
- 6 JOHNSON, RICHARDSON, NAIMO 1995 - 8 pages Past, present and future concepts in large river ecology. How rivers function and how human activities influence river processes - Bioscience volume 45 No. 3 - USA

- |   |   |
|---|---|
| 7 GERDEAUX 1985 - 14 pages              | Techniques d'échantillonnage. Les engins actifs : chaluts et sennes. Gestion piscicole - Gestion piscicole des lacs et retenues artificielles - INRA - France |
| 8 LEVESQUE, BOUDREAUULT 1992 - 29 pages | Revue des méthodes d'évaluation des habitats du saumon en rivière - Hydro-Québec - Canada   |
| 9 TIMBLIN 1991 - 20 pages               | Dams and river water quality - Q. 64, R. 37 - 17th ICOLD Congress   |
| 10 KUEHL 1988 - 2 pages                 | Hydroacoustics to monitor fish at dams and reservoirs - 16th ICOLD Congress - Volume V, page 104  |
| 11 MALAVOI, SOUCHON 1992 - 14 pages     | Hydrologie et dynamique hydroécologique des cours d'eau - Revue des sciences de l'eau - France  |
| 12 MARCHAL 1985 - 17 pages              | La détection acoustique dans l'étude des peuplements pisciaires - Gestion piscicole des lacs et retenues artificielles - INRA - France                        |

<b>Some rheophile fish (river fish)</b> <b>Quelques poissons rhéophiles (d'eaux vives)</b>		
<i>Cottus gobio</i>	bullhead	chabot
<i>Thymallus thymallus</i>	grayling	ombre commun
<i>Barbus barbus</i>	barbel	barbeau
<i>Chondrostoma nasus</i>	nose carp	hotu
<i>Leuciscus leuciscus</i>	dace	vandoise
<i>Noemacheilus barbatulus</i>	stone loach	loche franche
<i>Phoxinus phoxinus</i>	minnow	vairon
<i>Salmo salar</i>	atlantic salmon	saumon de l'Atlantique
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	rainbow trout	truite arc-en-ciel
<i>Salmo trutta fario</i>	brown trout	truite fario
<i>Gobio gobio</i>	gudgeon	goujon
<b>Some limnophile fish (calm water)</b> <b>Quelques poissons limnophiles (d'eaux calmes)</b>		
<i>Cyprinus carpio</i>	carp	carpe
<i>Esox lucius</i>	pike	brochet
<i>Rhodeus amarus</i>	bitterling	bouvière
<i>Tinca tinca</i>	tench	tanche
<i>Blicca bjorkna</i>	white bream	brème bordelière
<i>Coregonus lavaretus</i>	white fish	corégone
<i>Lampetra fluviatilis</i>	river lamprey	lamproie fluviale
<b>Some ubiquitous fish</b> <b>Quelques poissons ubiquistes</b>		
<i>Leuciscus cephalus</i>	chub	chevaine
<i>Alburnus alburnus</i>	bleak	ablette
<i>Abramis brama</i>	bream	brème
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	stickle back	épineche
<i>Gymnocephalus cernua</i>	ruffle	grémille
<i>Perca fluviatilis</i>	perch	perche
<i>Rutilus rutilus</i>	roach	gardon
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	rudd	rotengle
<i>Stizostedion lucioperca</i>	pike perch	sandre
<i>Lota lota</i>	burbot	lotte

Fig. 1  
 Sensibility of some fish to water speed  
*Sensibilité de quelques poissons à la vitesse du courant*

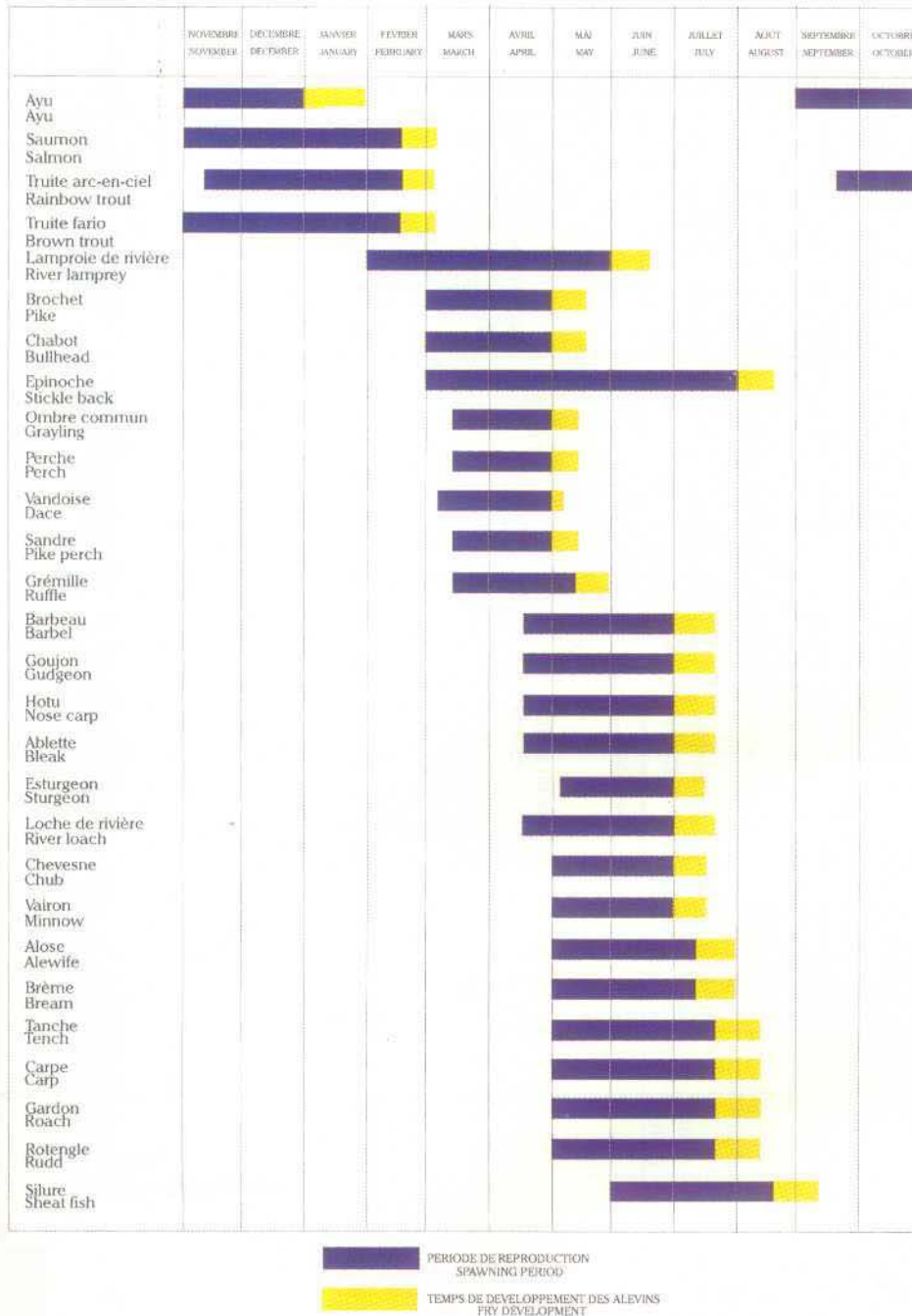


Fig. 2  
 Spawning and fry development periods in north hemisphere  
*Périodes de frai et de développement des alevins dans l'hémisphère nord*



Teneur en oxygène dissous (saturation), en mg/l

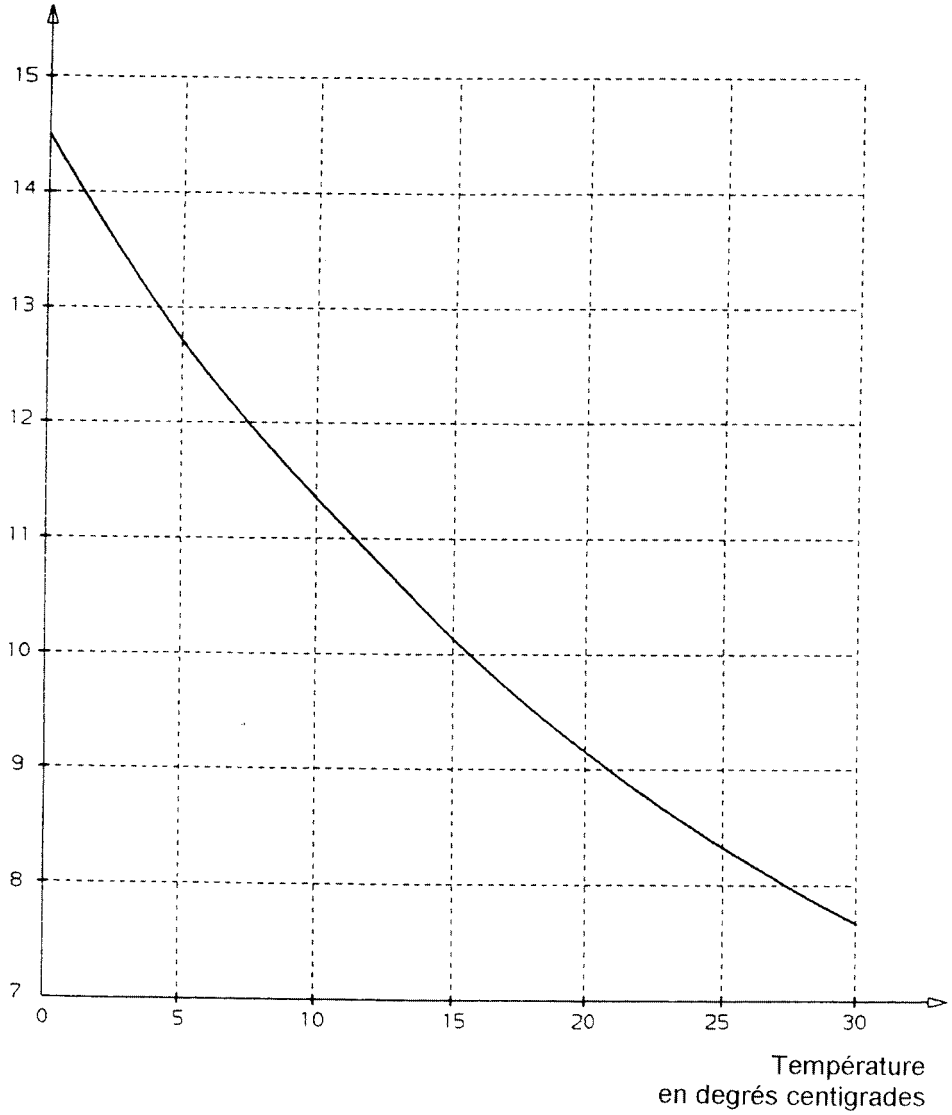


Fig. 3

Dissolved oxygen content in fresh water near the sea

*Teneur en oxygène dissous de l'eau douce au niveau de la mer*

Dissolved oxygen content (mg/l)  
Temperature (°C)

*Teneur en oxygène dissous (mg/l)  
Température (°C)*

Zones	Epirhithron		Métarhithron		Hyporhithron		Epipotamon		Métapotamon		Hypopotamon	
	Truite Trout		Truites adultes Adult trouts		Ombre Grayling		Barbeau Barbel		Brème Bream		Estuaire	
Potamon												
Peuplement piscicole principal Main fish population	Truites juvéniles Young trouts		Truites adultes Adult trouts		Faune mixte salmonidés (dominants) et cyprinidés d'eaux vives Mixed fauna salmonidae (mainly) and cyprinidae of running water		Faune mixte cyprinidés d'eaux vives (dominants), cyprinidés d'eaux calmes et quelques carnivores Mixed fauna cyprinidae of running water (mainly) and cyprinidae of still water and some carnivorous		Cyprinidés d'eaux calmes et carnivores Cyprinidae of still water and carnivorous			
Principaux poissons d'accompagnement Main other fish	Chabot vairon Bullhead minnow		Chabot vairon loche Bullhead minnow loach		Truite, chevaine, hotu, goujon Trout, chub, nose carp, gudgeon		Hotu, rotengle vandoise, perche brochet Nose carp, rudd, dace, perch, pike		Tanche, carpe, gardon, perche, brochet Tench, carp, roach, perch, pike			

Fig. 4  
Fish typically found in rivers from source to sea (according to Huët)  
*Typologie piscicole d'une rivière de la source à la mer (selon Huët)*

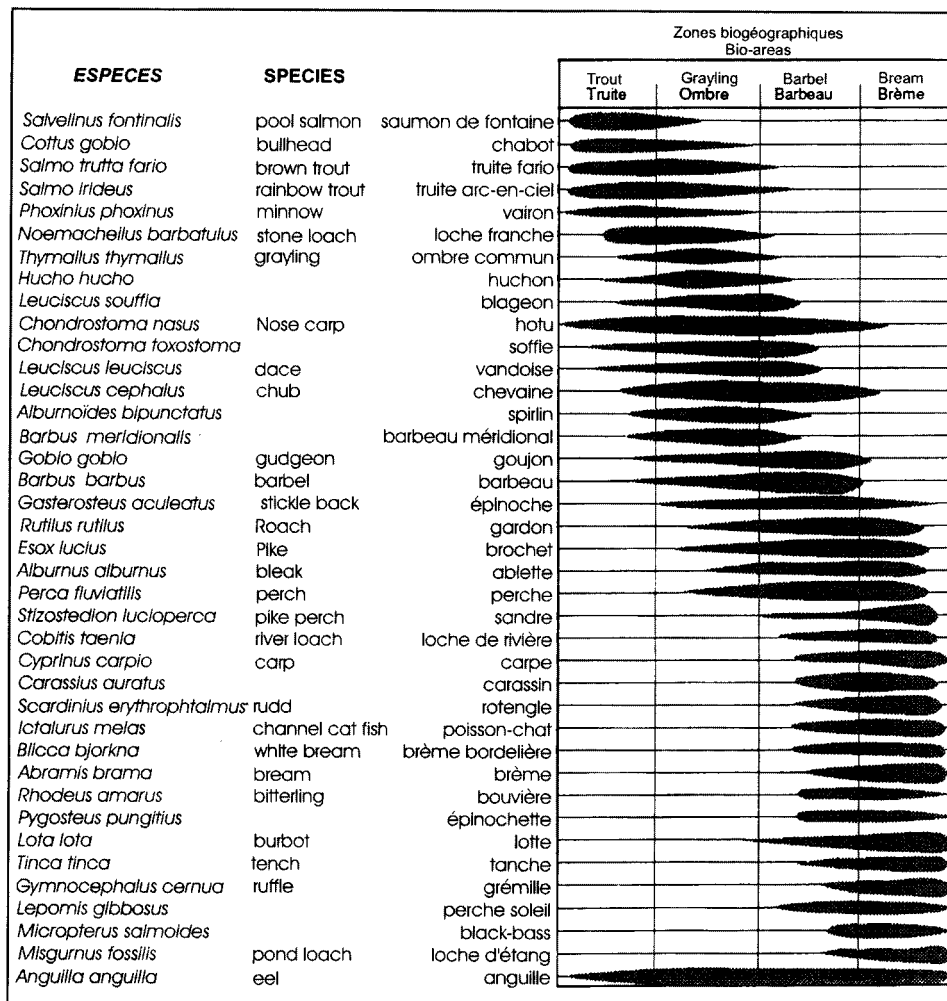


Fig. 5  
 Longitudinal distribution of fish population along rivers  
 in western Europe (according to Huet, 1959 and Arrignon, 1976)  
 Zonage longitudinal des peuplements de poissons d'Europe  
 occidentale (d'après Huet, 1959 et Arrignon, 1976)

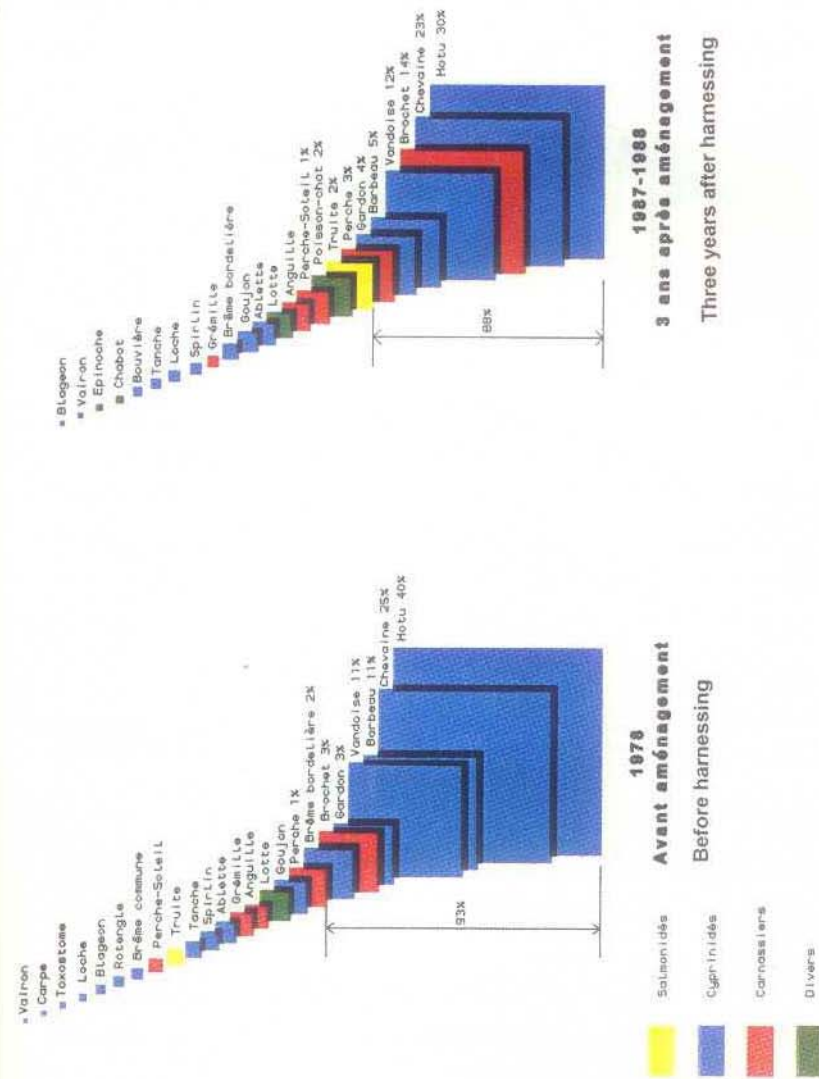


Fig. 6  
An example of a fish biomass count on Rhône river (France)  
*Un exemple de dénombrement de la biomasse piscicole sur le Rhône (France)*

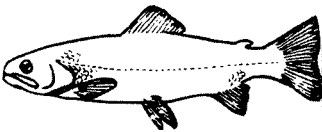
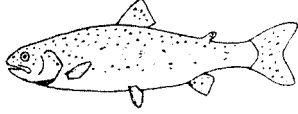
NOM NAME	truite fario "de rivière" brown trout <i>salmo trutta</i>	truite arc-en-ciel rainbow trout <i>oncorynchus mykiss</i>
ASPECT SIGHT		
taille adulte adult size	0,4 à 1,4 kg (jusqu'à 1.20 m et 20 kg en lac) (till 1.20 m and 20 kg in lake)	0,25 kg jusqu'à 1 m et 20 kg (aux USA pays d'origine) till 1 m and 20 kg(USA native)
sensibilité à la vitesse du courant sensitivity to current speed	poisson d'eau vive mais peut subsister dans les lacs (eaux fraîches et oxygénées) fish of running waters but can live in lakes (cool and oxygenated water)	
sensibilité à la pollution sensitivity to water quality	sensible, forte exigence en oxygène dissous sensitive, need high level of dissolved oxygen	
température préférée preferred temperature	12 à 15°C toujours < 20°C 12 to 15°C always < 20°C	10 à 16°C jusqu'à 22°C 10 to 16°C up to 22°C
nourriture food	carnassier invertébrés / poissons carnivorous invertebrates/fish	
frayère spawning area	graviers en eaux courantes gravels in running water	graviers et écloseries en eaux courantes (ne se reproduit pas naturellement en France) gravels in running water
période de reproduction spawning time	novembre - février	janvier - mars
capacité à franchir des vitesses de : swimming speed	2 à 3 m/s	2 à 3 m/s
date et mode de migration time and process of migration	poisson potamodrome migration vers la mer par les truites de mer potamodromous	Potamodrome potamodromous
divers miscellaneous	grand intérêt pour la pêche sportive et valeur culinaire great interest for sport fishing and high culinary value	grand intérêt pour la pêche de loisir et valeur culinaire great interest for leisure fishing and high culinary value

Fig. 7

Reference data for some typical fish

*Éléments de référence pour quelques poissons caractéristiques*

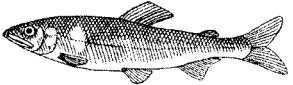

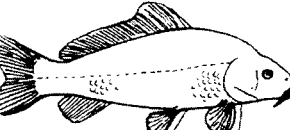
<b>Ayu ayu</b> <i>plecoglossus altivelis altivelis</i>	<b>Anguille eel</b> <i>Anguilla anguilla</i>	<b>Carpe carp</b> <i>Cyprinus carpio</i>
		
12 - 30 cm	80 - 140 cm - 4 kg	jusqu'à 4 kg pour 1,20 m up to 4 kg for 1.20 m
rhéophile	limnophile	limnophile (rivière calme, étangs, lacs) (still river, ponds, lakes)
assez sensible rather sensitive	peu sensible little sensitive	peu sensible little sensitive
< 25 °C		jusqu'à 30 °C up to 30°C
zooplancton (juvénile) algues (adultes) zooplankton (young) algae (adults)	insectes, carnivore  insects carnivorous	omnivore benthique  omnivorous benthic
graviers et galets gravels and pebbles	mer des Sargasses Sargasso sea	végétaux vegetation
fin automne - début hiver end autumn - beginning winter		mai - juillet (T > 20 °C)
0,5 m/s - 1 m/s	< 0,50 m/s	0,5 m/s à 1 m/s
les alevins descendent en mer pour se nourrir - remontée en rivière au printemps et au début de l'été  young fish went to sea for food and back in river in spring	Thalassotoque  catadromous	
très important au Japon tant pour la nourriture que pour les loisirs  very important in Japan for food and leisure	grand intérêt culinaire  great interest for kitchen	sportif et culinaire  sport and kitchen

Fig. 7 (continued/suite)

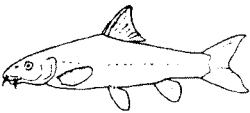


<b>Barbeau</b> <b>Barbel</b> <i>Barbus barbus</i>	<b>Lamproie marine</b> <b>Lamprey</b> <i>Petromyzon marinus</i>	<b>Poisson chat</b> <b>Channel cat fish</b> <i>Ictalurus melas</i>
		
50 cm 1 m / 8 kg	50 à 60 cm	15 à 30 cm
rhéophile	limnophile	ubiquiste – limnophile ubiquitous – limnophile
moyennement sensible moderately sensitive	peu sensible little sensitive	peu sensible little sensitive
< 25° C		< 30 ° C
insectes omnivore - carnivore	parasite de poissons	omnivore
graviers - galets en eaux courantes insects, omnivorous, carnivorous	sable et gravier sand and gravel	cuvette préparée et surveillée par les parents bassin prepared by parents
avril - juin	de février à mai	mai - juin < 18 ° C
1 à 2 m/s	0,3 m/s	1 m/s
potamodrome	potamodrome	potamodrome
Sportif sport	parasite poissons fish parasitic	Nuisible noxious

Fig. 7 (continued/suite)

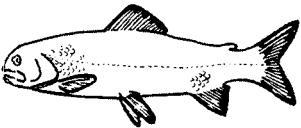
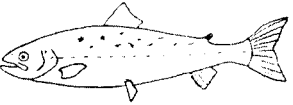

<b>Saumon chinook</b> <b>Chinook salmon</b> <i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	<b>Saumon</b> <b>Atlantic salmon</b> <i>Salmo salar</i>	<b>Alose</b> <b>Alewife - american shad</b> <i>Alosa pseudoharengus,</i> <i>sapidissima</i>
		
60 kg (Alaska)	1,50 m - 35 kg	50 cm 60 cm - 3 kg
poisson d'eau vive	poisson d'eau vive	ubiquiste
running water	running water	ubiquitous
Sensible	Sensible	assez sensible
sensitive	sensitive	rather sensitive
froide	< 18 ° C	16 - 20 ° C
omnivore omnivorous	omnivore carnivore  omnivorous/carnivorous	insectes  insects
	graviers en eaux courantes	graviers en eaux courantes
	gravels in running water	gravels in running water
novembre - février mouvement après le frai movement after spawn	novembre - février	mai - juin (> 16 ° C)
	3 m/s voire plus or more	0,25 m/s 1 m/s
Potamotoque	migration mer - rivière puis retour à la mer après le frai	Potamotoque
anadromous	migration from sea to river and return to sea after spawn	anadromous
grand intérêt sportif et culinaire non acclimaté en France  great interest for sport and kitchen	grand intérêt sportif et culinaire  great interest for sport and kitchen	poisson fragile - grand intérêt sportif et culinaire  fragile fish – great interest for sport and kitchen

Fig. 7 (continued/suite)



---

## 2. LES POISSONS DANS LES RETENUES DES BARRAGES

---

### 2.1. INTÉRÊT PISCICOLE DES RETENUES

Les retenues des barrages sont des lacs artificiels où, comme dans les lacs naturels, la faune piscicole peut se développer et fournir une abondante nourriture aux populations riveraines ainsi qu'une opportunité pour la pêche de loisir. Certaines retenues ont même acquis ainsi une particulière notoriété.

Le lac Volta au Ghana, mis en eau en 1971, alimente des pêches annuelles de 40 000 tonnes. Le lac Kariba fournit 35 000 tonnes par an. Le réservoir de Tucurui au Brésil fournit 6 000 tonnes de poissons par an et entretient 2 600 pêcheurs professionnels. La retenue de Gosau en Autriche est un site réputé, classé parc naturel. De nombreuses retenues du Royaume-Uni constituent des parcours de choix pour la truite (Wimbleball, Roadford Lake, Kielder Water, etc.). Souvent l'abondance des poissons s'accompagne de celle des oiseaux; c'est ainsi que le réservoir Marne (France) a été classé « zone d'importance communautaire pour les oiseaux ».

Lorsque la retenue est implantée dans une zone désertique présentant une productivité agricole faible ou nulle, elle constitue, grâce à la production piscicole, une ressource alimentaire nouvelle particulièrement précieuse (Lac Nasser).

Dans la plupart des pays d'Asie, la pêche est un usage de plus en plus important des retenues car elle est une source peu coûteuse de protéine et elle fournit des emplois aux populations riveraines.

Enfin, la pêche sportive et la pêche de loisir sont souvent à l'origine de développements économiques importants dans l'entourage de la retenue (campings, hôtels, matériels de navigation et de pêche, etc.).

Cependant, une importante production piscicole des réservoirs n'est pas toujours le cas. Dans des eaux oligotrophes, cette production décroît en fonction de la régulation de l'amplitude du niveau d'eau.

Le constructeur de barrage se doit donc d'être attentif à la valeur piscicole de la retenue. Cela suppose une bonne connaissance de certains mécanismes et implique diverses précautions qui sont évoquées ci-après. Il paraît intéressant de développer une classification des retenues basée sur leurs caractères morphologiques, biologiques et limnologiques, pour connaître leur potentiel piscicole.

### 2.2. MODIFICATION DE LA QUALITÉ DES EAUX

#### 2.2.1. Évolution de la population piscicole vers un système à dominante lacustre

Lorsque la retenue est importante vis-à-vis de l'apport journalier de la rivière, elle constitue un lac où les courants sont très faibles. Si la rivière abritait des espèces

---

## 2. FISH IN DAM RESERVOIRS

---

### 2.1. IMPORTANCE OF FISH IN RESERVOIRS

Dam reservoirs are artificial lakes where fishlife should be able to develop as in natural lakes and provide an abundant source of food for lakeside populations as well as opportunities for recreational fishing. Some reservoirs have even become well-known in this respect.

Lake Volta, in Ghana, which was created in 1971, provides 40 000 tonnes of fish per year, while the annual yield from lake Kariba is 35 000 tonnes. The Tucuruí reservoir in Brazil produces 6 000 t of fish per year and ensures employment for 2 600 professional fishermen. In Austria, the Gosau reservoir is a well-known site which is designated as a natural park. The United Kingdom boasts many reservoirs which abound in trout (Wimbleball, Roadford Lake, Kielder Water, for example). An abundance of fish often goes hand-in-hand with a rich bird population, as in the case of the Marne reservoir in France, which has been designated as a special area for birdlife.

When a reservoir is created in a desert area with little or no agricultural production, the fish provide a new and much appreciated source of food for the population (lake Nasser).

In most Asian countries, fisheries are becoming an increasingly important secondary user of reservoirs, and they provide a cheap source of protein and employment opportunities to poor sectors of the community living in the vicinity of a reservoir.

Finally, recreational and sport fishing can often lead to significant economic development in the reservoir area (campgrounds, hotels, boating equipment and fishing tackle, etc.).

However, abundant fish production in reservoirs is not always the case. In oligotrophic waters, fish production will decrease with increasing regulation of water level amplitude.

When a dam is constructed, attention should therefore be paid to the advantages associated with the fishlife in the reservoir. Knowledge of certain mechanisms is thus essential and various precautions, which are mentioned below, must be taken. It would be helpful to develop a meaningful classification of reservoirs. This classification would be based on a variety of characteristics ranging from morphology and biology to limnology, and would give an idea of the fish potential of a reservoir.

### 2.2. CHANGES IN WATER QUALITY

#### 2.2.1. Tendency towards a stagnant-water fish population

When the lake is large in relation to the daily inflow of the river, the currents will be very weak. If the river was home to rheophile fish, this population will

rhéophiles, celles-ci vont fortement régresser au profit des espèces limnophiles. Certaines espèces peuvent disparaître complètement et, en général, la biodiversité est réduite (exemples de Tarbela, de Kariba, de Darmouth, de Glen Canyon cités lors du 18<sup>e</sup> Congrès de la CIGB).

Cependant, les espèces d'eaux vives peuvent s'adapter, et se maintenir dans la retenue en fréquentant en alternance la queue de retenue et les affluents. Il faut veiller à ce qu'il n'y ait pas d'obstacles à ces mouvements.

Si, à l'inverse, le débit moyen de la rivière suffit à remplir la retenue en quelques jours, il y aura moins de modification de la population piscicole et les espèces rhéophiles devraient pouvoir subsister mais avec une abondance relative moindre (retenues du Rhône).

### **2.2.2. Effets de la submersion initiale**

La submersion initiale du site de la retenue a un effet qui peut être important sur la qualité des eaux, parce qu'elle entraîne la dissolution de divers éléments contenus dans le sol submergé, tels notamment que les métaux lourds, et parce que la décomposition de la végétation submergée absorbe l'oxygène et dégage de l'anhydride sulfureux.

Ces effets sont généralement temporaires mais peuvent influencer la faune piscicole pendant les premières années de la vie de la retenue.

On peut citer à cet égard les retenues de la Baie James au Canada ayant entraîné une augmentation de la teneur des eaux en mercure, et la retenue de Petit Saut en Guyane qui, par suite de la submersion de la forêt tropicale, a provoqué la formation et le dégagement de  $\text{SH}_2$ , de  $\text{CH}_4$  et de  $\text{CO}_2$ .

Le cas du mercure a été particulièrement étudié à l'occasion de l'aménagement de La Grande Rivière au Canada (Fig. 8) (\*).

Le mercure est généralement présent dans le sol sous forme inorganique  $\text{Hg}^0$  et  $\text{Hg}_2^+$ . Il provient des roches continentales ou des apports atmosphériques provenant eux-mêmes des éruptions volcaniques, des incendies de forêt ou des émissions de sites industriels.

Ce mercure peut, par un processus microbien, passer en phase organique, principalement  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  en phase aqueuse. Il peut alors être absorbé par les organismes aquatiques et être finalement concentré dans les poissons.

Ainsi, pendant les premières années après la création d'un réservoir, le mercure présent dans le sol submergé se transforme en méthylmercure et sa teneur dans le corps des poissons augmente.

Ce phénomène complexe est influencé par de multiples facteurs : durée de la mise en eau, taux de renouvellement des eaux, composition chimique des eaux, etc. Ensuite, la teneur en mercure décroît progressivement et revient sensiblement à la valeur d'origine au bout de 10 à 20 ans.

---

(\*) Les Figures 8 à 16 sont données à la fin du Chapitre 2 (pages 64 à 74).

decrease dramatically in favour of lake (limnophile) species. Certain species may disappear completely and, in general, there will be fewer varieties (for example, the cases of Tarbela, Kariba, Darmouth and Glen Canyon mentioned at the 18th Congress of ICOLD).

However, river species can adapt and continue to live in the reservoirs by visiting in turn the end of the reservoir and the tributaries. Care should be taken to ensure that there are no obstacles to these movements.

On the other hand, if the average flow rate of the river is sufficient to fill the reservoir in a few days, there will be fewer changes in the fish population and river (rheophile) species should be able to survive, though in relatively smaller numbers (Rhône reservoirs).

### **2.2.2. Effects of initial filling**

The initial filling of the reservoir site has an effect which can be significant on water quality because of the dissolution of various elements contained in the submerged soil, heavy metals in particular, and because the decomposed submerged vegetation absorbs the oxygen and gives off sulphur dioxide.

Such effects are generally temporary but may influence fishlife during the first years of the life of the reservoir.

The reservoirs created by the James Bay project in Canada are a case in point since they resulted in an increase in the mercury content of the water. Similarly, the creation of the Petit Saut reservoir in French Guiana, which involved the flooding of tropical forest, resulted in the creation and release of  $\text{SH}_2$ ,  $\text{CH}_4$  and  $\text{CO}_2$ .

Mercury content was an aspect studied specifically during the development of La Grande Rivière in Canada (Fig. 8) (\*).

Mercury is generally present in the ground in inorganic form, as  $\text{HgO}$  and  $\text{Hg}_2^+$ . It comes from continental rocks, from the atmosphere following volcanic eruptions, from forest fires or emissions from industrial sites.

Following a microbic process, the mercury may pass into the organic phase, mainly  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  in the aqueous phase. It can then be absorbed by aquatic organisms and may finally become concentrated in fish.

Thus, during the first years after the creation of a reservoir, the mercury present in the submerged ground is transformed into methylmercury and its content in the bodies of fish increases.

This complex phenomenon is influenced by numerous factors : duration of filling, rate of renewal of water, chemical composition of water, etc. Then, the mercury content progressively decreases and more or less returns to the original value after 10 to 20 years.

---

(\*) Fig. 8 to 16 are given at the end of Chapter 2 (pages 64 to 74).

Dans le cas du complexe de La Grande Rivière, la teneur en mercure de poissons blancs non carnivores, de 40 cm de longueur, est passée de 0,11 mg/kg à 0,6 mg/kg puis a décliné. Le phénomène est plus marqué pour les poissons carnivores. Ainsi, la concentration dans le brochet de 70 cm de longueur est passée de 0,63 mg/kg à 2,71 mg/kg puis a décliné.

Une étude particulière de la présence de mercure dans la population riveraine (Indiens CR1) a montré que l'élévation du taux de mercure dans les poissons dont se nourrit cette population a eu des effets faibles sur leur santé et n'a pas atteint des doses considérées comme dangereuses.

D'une manière générale, dans le cas de réservoirs importants submergeant de grandes surfaces de terrain, avec un faible taux de renouvellement, il y a lieu de suivre attentivement l'évolution du taux de mercure ou d'autres éléments toxiques (métaux lourds) dans le corps des poissons. Le mercure peut être spécifique au site. Le cadmium, la dioxine peuvent poser de sérieux problèmes dans d'autres régions.

Dans le cas où la retenue submerge une forêt, il faut se préoccuper, non seulement des risques entraînés par la décomposition des végétaux, mais aussi des effets mécaniques des troncs qui subsistent au fond de la retenue. Ceux-ci peuvent avoir un effet utile en servant de support à une végétation et une faune benthique, et un effet nuisible en gênant l'exercice de la pêche au filet. De ce dernier point de vue, ainsi d'ailleurs que pour des raisons d'aspect lors du niveau bas de la retenue, il est souhaitable, à tout le moins, de déboiser la totalité des lisières de la retenue. En Chine, où la carpe chinoise, un poisson très important pour la nourriture des populations, ne peut pas se reproduire dans les retenues et est introduite chaque année par des alevins, l'essentiel de la végétation est détruite avant submersion afin de faciliter la pêche. Le déboisement n'est toutefois réalisable que pour des superficies limitées. Par exemple, dans le cas de la retenue de Petit Saut où la lisière boisée représente environ 100 km<sup>2</sup>, on a renoncé à cette opération.

D'une manière générale, la submersion provoque la décomposition de la matière organique existante dans la vallée. Si celle-ci est très importante, il en résulte une forte consommation d'oxygène qui peut créer de grands dommages à la population piscicole pendant quelques années. Ensuite, la décomposition de la matière organique est moins active, la teneur en oxygène dissous redevient normale et on assiste généralement à un fort développement de la faune piscicole grâce aux éléments nutritifs libérés par cette décomposition. On assiste alors à une « explosion trophique ». Cette situation favorable peut apparaître dès le début de la mise en eau si la quantité de matière organique noyée n'est pas trop abondante. Elle résulte du largage rapide après la submersion d'éléments nutritifs solubles qui provoquent une forte croissance du développement algal. Enfin, à terme, la décomposition de la matière d'origine est achevée, les éléments nutritifs sont ceux des apports naturels de la rivière, la population piscicole décroît et son abondance rejoint celle d'origine. C'est la phase de la « dépression trophique ». La transition vers cet état d'équilibre dépend de la quantité de matière organique immergée. Elle est généralement courte dans les pays tempérés, de l'ordre de quelques années. Elle peut dépasser 10 ans dans les retenues tropicales.

Par exemple, dans la retenue de Jatiluhur (ouest Java), durant les premières années, la production piscicole était de 41 tonnes par an. Trois ans après le

In the case of La Grande Rivière scheme, the mercury content of 40 cm long non-carnivorous white fish increased from 0.11 mg/kg to 0.6 mg/kg and then decreased. This phenomenon is more marked for carnivorous fish. Thus the concentration in 70 cm long pike increased from 0.63 mg/kg to 2.71 mg/kg before decreasing.

A special study of the presence of mercury in the population living along the river (CRI Indians) revealed that the increase in mercury content in the fish which these people eat had little effect on their health and did not reach a level which could be considered dangerous.

As a general rule, in the case of large reservoirs which have flooded extensive areas of land, and where there is a low rate of water renewal, it is advisable to monitor carefully the changes in mercury or other toxic heavy metal contents in the bodies of fish. Mercury may be site-specific. Cadmium and dioxin could be serious problems in other regions.

When a forest is submerged by a reservoir, not only must consideration be given to the risks resulting from the decomposition of vegetation, but also to the more physical consequences of tree trunks which remain at the bottom of the reservoir. Trunks may prove useful by providing a basis for new vegetation or benthic fauna but, on the other hand, they may constitute an obstacle for fishing nets. In view of the latter problem, and also from an aesthetic point of view when the water level is low, it is advisable to remove all the trees in the reservoir area before flooding. In China, the situation is different as the most important food fish, the Chinese carp, does not spawn in the reservoir itself, but is introduced as fingerlings every year. Under these circumstances, most of the vegetation may be cleared because it facilitates easy harvesting by sophisticated methods, as is usually the case in China. Deforestation, however, is realistic only for limited areas. For instance, in the case of the Petit Saut scheme, where the forest skirting the reservoir covers about 100 km<sup>2</sup>, this operation was abandoned.

Generally speaking, the filling of a reservoir results in the decomposition of existing organic matter in the valley. The decomposition of substantial amounts of such matter results in a high consumption of oxygen, with extremely detrimental effects on the fish population over several years. Subsequently, decomposition activity is reduced and the dissolved oxygen content of the water returns to normal. At this stage, the fishlife begins to develop considerably thanks to the nutrients released by the decomposition process and a " trophic explosion " takes place. This favourable situation can occur even straight after the initial flooding stage if there is not an excessive amount of submerged organic matter. It occurs when water is released very quickly following the submersion of soluble nutrients which cause a sharp increase in the development of algae. Finally, once the decomposition process is completed, the nutrients in the lake are those provided naturally by the river and the fish population decreases to its original level. This is known as the " trophic depression " phase. The length of the transition phase before this state of equilibrium is reached will depend on the amount of submerged organic matter. In temperate climates it is generally short, of the order of a few years, while in tropical regions it can exceed ten years.

For instance, in the Jatihuhur reservoir (West Java), during the early period after flooding, the total fish production was as low as 41 tonnes per year. Three

remplissage, elle s'est mise à croître jusqu'à 310 t/an. Puis elle a décliné, mais en 1968, elle a recommencé à croître pour atteindre 453 t/an en 1986.

Dans le cas de la retenue de Petit Saut en Guyane française, qui a submergé 310 km<sup>2</sup> de forêt tropicale, il s'est produit dès les premières années de la mise en eau une stratification chimique de la retenue en deux zones. L'une, profonde, est totalement anoxique, l'autre, superficielle (l'épilimnion), est oxygénée. La vie piscicole s'est maintenue et même développée dans cette zone grâce à l'oxygène et aux apports nutritifs qui ont entraîné un développement important du phytoplancton. Son épaisseur est passée d'environ 2 m après la mise en eau à 5 m trois ans plus tard. A noter que cette stratification a limité les échanges entre le fond où le mercure est présent et la surface où la faune piscicole se développe. De ce fait, on a observé une diminution de la teneur en mercure dans le corps des poissons.

### 2.2.3. Niveau d'eutrophisation des eaux

Lorsqu'un régime permanent est établi, la qualité des eaux de la retenue dépend des rejets industriels, urbains et agricoles qui sont déversés par les populations riveraines ou qui résultent de l'érosion des sols.

L'abondance de la population piscicole dépend de ces apports qui fournissent les éléments nutritifs nécessaires au développement du phytoplancton, des algues et des plantes aquatiques (Fig. 9).

On classe les retenues de la manière suivante :

Niveau d'eutrophisation	Quantité de phosphore total (mg/m <sup>3</sup> )	Transparence disque de Secchi (m)	Chlorophylle a (mg/m <sup>3</sup> )
ultra oligotrophe	1	> 30	1
oligotrophe	8	10 - 30	8
mésotrophe	20	5 - 10	15
eutrophe	100	3 - 5	80
hypereutrophe	800	0,5 - 3	150

Cette classification est relativement sommaire en ce qu'elle ne vise que le phosphore total et ne tient pas compte des autres paramètres de la retenue (profondeur, temps de séjour de l'eau, pente des rives, etc.), ni de la teneur en azote qui peut dans certains cas constituer un facteur limitatif.

Un excellent indicateur de la productivité piscicole est le taux de chlorophylle a qui résume bien les potentialités d'une retenue (Fig. 10). D'une manière générale, la meilleure situation pour l'abondance de la population piscicole semble se situer entre l'état mésotrophe et l'état eutrophe. Cela dépend essentiellement de l'environnement, c'est-à-dire des apports, plus que de la retenue elle-même.

years after flooding, production increased to 310 t/year. In subsequent years, production first decreased but, in 1968, started to increase again, reaching 453 t/year in 1986.

In the case of the Petit Saut reservoir in French Guiana, which submerged 310 km<sup>2</sup> of tropical forest, chemical stratification began to occur in the very first years of filling, dividing the reservoir into two distinct areas, one deep and totally anoxic, the other at the surface (the epilimnion) and oxygenated. Fishlife has been maintained there and even developed thanks to the oxygen and inflow of nutrients that led to considerable development of phytoplankton. It increased in depth from about 2 m after flooding to 5 m three years later. It should be noted that this stratification limited exchanges between the bed, where mercury is found, and the surface, where fishlife has developed. Because of this, there has been a fall in the amount of mercury in the bodies of fish.

### 2.2.3. Eutrophication level of water

When a steady regime is established, the quality of the water in the reservoir will depend on the industrial, urban and agricultural wastes which are discharged into the water by the local population or which are deposited there because of soil erosion.

The abundance of the fish population will depend on the inputs which supply the nutrients needed for the development of phytoplankton, algae and water plants (Fig. 9).

Reservoirs can be classified as follows :

<b>Eutrophication level</b>	<b>Total phosphorus (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Secchi disk transparency (m)</b>	<b>Chlorophyll-a (mg/m<sup>3</sup>)</b>
ultra oligotrophic	1	> 30	1
oligotrophic	8	10 - 30	8
mesotrophic	20	5 - 10	15
eutrophic	100	3 - 5	80
hypereutrophic	800	0.5 - 3	150

This classification is fairly basic in that it only considers total phosphorus and does not take into account the other parameters of the lake (depth, length of time the water stays in the reservoir, slope of banks, etc.) or nitrogen content, which may be a limiting factor in certain cases.

An excellent reservoir fish production index is chlorophyll a content, which accurately reflects the potential of a reservoir (Fig. 10). Generally speaking, the best situation in terms of the abundance of fish population seems to be between mesotrophic and eutrophic. The environment, in other words the inputs, play a more important role than the reservoir itself.



En tout état de cause, il y a différents écosystèmes naturels sur la terre qui varient de l'état ultraoligotrophe à l'état hypereutrophe, et chacun contribue à la biodiversité. La question importante est de savoir si un projet de barrage influence un écosystème rare. Si c'est le cas, des alternatives au projet devront être sérieusement examinées. D'un autre côté, l'effet positif d'un réservoir doit aussi être pris en compte.

Dans certains cas, principalement dans les pays tropicaux, l'abondance des éléments nutritifs peut donner lieu à des développements explosifs de végétation aquatique qui sont particulièrement dommageables notamment pour la faune piscicole. On peut citer, à cet égard, le cas de *Salvinia molesta*, et surtout de la jacinthe d'eau (par exemple *Eichhornia crassipes*) dans les retenues d'Afrique.

En Nouvelle-Zélande, l'emploi des engrais agricoles sur une large échelle a provoqué le développement de plantes aquatiques sur de grandes surfaces (*Eichhornia crassipes*, *Ceratophyllum demersum*, *Egeria densa*) qui sont non seulement nuisibles pour la faune piscicole mais qui posent aussi des problèmes pour la production hydroélectrique et pour les loisirs nautiques.

### **2.3. EFFET DU MARNAGE DES RETENUES ET IMPORTANCE DE LA VÉGÉTATION RIVULAIRE**

Beaucoup de retenues sont utilisées pour la régulation du débit de la rivière. Elles subissent de ce fait un important marnage qui peut atteindre plusieurs dizaines de mètres – pour permettre le stockage des eaux de crue et une lâchure de soutien de l'étiage. Un marnage sensible des retenues résulte également de leur utilisation pour la production hydroélectrique, qu'il s'agisse de produire plus d'énergie en hiver ou de faire de la pointe journalière.

Ce marnage a un effet néfaste sur la faune piscicole car il gêne le développement de la végétation rivulaire, elle-même importante pour la nourriture des poissons, l'absorption des nitrates et phosphates en excès et donc la qualité de l'eau. Il gêne aussi la reproduction des poissons en asséchant ou en submergeant les frayères.

Les poissons phytophiles pondant sur des végétaux et, en général, à faible profondeur, et dont la maturation des œufs est longue, sont particulièrement sensibles à l'assèchement résultant du marnage (brochet). Par contre, les espèces moins exigeantes sont peu vulnérables (gardons, brèmes, perches, sandres). Ainsi, un marnage important ne se traduit pas nécessairement par l'absence de poissons dans la retenue. Par exemple, la retenue de Serre-Ponçon (France) qui subit un marnage annuel d'une trentaine de mètres, abrite un important peuplement piscicole.

Les mesures compensatoires sont l'implantation d'une végétation rivulaire adaptée, la création de retenues annexes à niveau peu variable et une certaine adaptation des consignes d'exploitation de la retenue.

Enfin, il faut noter un autre effet négatif du marnage, qui a été observé en Russie. Un abaissement rapide et important du niveau de la retenue en hiver peut

In any event, there are different natural ecosystems on earth varying from the ultraoligotrophic state to the hypereutrophic state, and each one makes its contribution to biodiversity. The important question is to know whether a dam project influences a rare ecosystem. If this is the case, alternatives to the project must be given serious consideration. On the other hand, the positive effect of a reservoir must also be taken into account.

In certain cases, mainly in tropical countries, an abundance of nutrients in the water can lead to the explosive development of water plants which can be particularly harmful, especially for the fishlife. A case in point is *Salvinia molesta*, and above all the water hyacinth (for instance *Eichhornia crassipes*), found in reservoirs in Africa.

In New Zealand, the wide use of agricultural fertilisers has generated very large, dense areas of aquatic weed (*Eichhornia crassipes*, *Ceratophyllum demersum*, *Egeria densa*), which interfere not only with fishlife but also with hydropower generation and recreational activities.

### **2.3. EFFECT OF FLUCTUATING WATER LEVELS AND IMPORTANCE OF RIVER BANK VEGETATION**

Many reservoirs are used to regulate flow on rivers and are therefore subject to considerable changes in water level, with differences sometimes reaching several tens of metres. Water is stored in times of flood and is released to supplement flow in low-water periods. Some differences in water level may also result from use of the reservoir for hydropower production, either to increase production in winter or to provide additional power during peak demand.

Such changes in water level have a harmful effect on fishlife since they hinder the development of vegetation in and along the streams. This vegetation provides a source of food for fish and since it absorbs nitrates and phosphates it is an important factor affecting water quality. Changes in water level also result in spawning grounds being left dry or submerged and may therefore prevent the reproduction of fish.

Phytophile fish such as pike, which lay their eggs in vegetation generally fairly close to the water surface and whose eggs take a long time to mature, are particularly sensitive to the problem of reduced water levels. On the other hand, less demanding species (roach, bream, perch and pike perch) are not very vulnerable. Thus, significant fluctuations in water level do not necessarily mean there will be an absence of fish in the reservoir. For example, the Serre-Ponçon reservoir (France), which is subject to an annual change in water level of about 30 metres, has good production.

Compensatory measures include planting appropriate river vegetation, creating ancillary reservoirs where the water level is fairly constant and adapting reservoir operating procedures to take into account the fishlife.

Finally, variations in water level can have another negative effect. It was observed, in Russia, that if there is a sudden significant drop in the reservoir water

aboutir à l'écrasement par la glace des poissons qui hivernent dans les creux du fond du réservoir.

**La création et le maintien d'une végétation riveraine importante** (Fig. 11 et 12) sont particulièrement efficaces pour les retenues à faible marnage. Il s'agit de réaliser un tapis de plantes aquatiques et terrestres associées à des aménagements du sol (pentes faibles, géotextiles, enrochements) qui évitent l'érosion due aux variations de niveau et aux vagues de vent. Dans le cas de très faible variation de niveau, la végétation s'implante naturellement sur les rives à faible pente et à sol meuble.

**Les retenues annexes à niveau peu variable** sont intéressantes pour les réservoirs à fort marnage. Elles doivent être disposées dans les zones propices au frai, dans les anses de la retenue, au débouché des ruisseaux affluents et dans les zones de faible profondeur qui représentent un faible prélèvement sur la capacité de la retenue mais sont particulièrement propices au développement piscicole.

La communication avec la retenue devra être assurée par des chenaux présentant une pente relativement faible et des obstacles ralentissant le courant. Plutôt que des échelles à poissons, ces ouvrages seront des rivières artificielles constituées de sable, graviers, enrochements et blocs de béton préfabriqué. Les rives devront être stabilisées par une végétation la plus dense possible, éventuellement renforcées par des géotextiles.

Lorsque le débit de la rivière débouchant dans ces retenues annexes est suffisant (supérieur à 8 m<sup>3</sup>/s environ), la rivière artificielle pourra être utilisée également pour la pratique du canoë (Fig. 13), étant entendu qu'une réglementation sera nécessaire pour éviter la compétition entre canoéistes et pêcheurs dans les périodes de l'année importantes pour le frai.

De telles rivières artificielles peuvent permettre de traiter des marnages de plusieurs dizaines de mètres. Néanmoins, leur longueur importante en cas de fort marnage (10 à 20 fois la hauteur à racheter) les rend coûteuses et difficiles à inscrire dans le site. Dans le cas de barrages de basse et moyenne chute, elles peuvent court-circuiter le barrage et constituer un moyen commode de franchissement de la chute par les poissons (cas du Rhône et du Danube). Bien que le coût de ces rivières artificielles puisse être relativement élevé, la perte de productivité dans le cas de la réduction d'une certaine espèce de poissons devra être prise en compte aussi bien que la perte de biodiversité.

Il pourra être nécessaire, lorsque ces retenues annexes sont situées au débouché d'une rivière présentant, en crue, un débit solide important, de prévoir un vannage évacuant ce débit et évitant l'envasement de la zone d'eau calme ainsi constituée.

De ce fait, la rivière principale alimentant la retenue ne pourra généralement pas être utilisée à cette fin dans des conditions économiques. Il peut être envisagé également de constituer une telle retenue annexe dans une anse de la retenue, sans qu'une rivière y parvienne. Elle ne dispose alors pas d'autre alimentation en eau que celle de la retenue et ne pourra fonctionner que pour un certain niveau de celle-ci. Il conviendra de choisir ce niveau en fonction du calendrier de vidange et remplissage de la retenue et de la période de frai des poissons dont on souhaite assurer ainsi la reproduction.

level in winter, fish which are wintering in the hollows at the bottom of the reservoir may be crushed by the ice.

**Creating and maintaining substantial vegetation** (Fig. 11 and 12) is particularly effective in the case of reservoirs with little variation in water level. A covering of aquatic and land vegetation must be created in association with certain earthworks (creation of gentle slopes, use of geotextiles and rockfill) in order to prevent erosion due to variations in water level and wind action. When there is little level variation, vegetation naturally grows on the embankments if they consist of light soil and have little slope.

**Ancillary reservoirs with fairly constant water levels** are an interesting solution where the main reservoir is subject to significant variations in level. They must be placed in areas suitable for spawning, in the bays of the reservoir, at the mouth of the tributaries and in shallow areas representing a small proportion of the reservoir capacity but which are particularly favourable for fish reproduction.

Communication with the reservoir will be via small channels with a gentle slope and obstacles to slow down the current. Rather than fish ladders, these structures will be artificial rivers comprising sand, gravel, rockfill and prefabricated concrete blocks. The banks must be stabilised by vegetation, which should be as dense as possible, and reinforced if necessary by geotextiles.

When the discharge from the river flowing into an ancillary reservoir is sufficient (more than 8 m<sup>3</sup>/s), the channel may also be used for canoeing (Fig. 13), provided that regulations are established to avoid any conflict or competition between canoe enthusiasts and fishermen in those periods of the year important for spawning.

Artificial rivers may be used to deal with differences in water level of several tens of metres, but the considerable length required for very large differences in water level (10 to 20 times the height difference) makes them costly and difficult to install. In the case of low and medium-head dams, they may bypass the dam, thus becoming a convenient way for the fish to negotiate the drop (case of the Rhône and the Danube). Although the cost for artificial rivers may be very high, loss of productivity in case of reduction of certain fish populations should be taken into account as well as possible loss of biodiversity.

When these ancillary reservoirs are situated at the mouth of a river which delivers a considerable amount of solid flow in times of flood, it may be necessary to provide a gating system to drain such flow and prevent the area of calm water thus created from silting up.

Consequently, the main river supplying the reservoir cannot generally be used for this purpose in an economically viable way. It may also be possible to create an ancillary reservoir in a bay of the main reservoir where there is no inflowing stream. The only water supply would then be from the main reservoir and the ancillary reservoir would only function at a certain water level. This level should be chosen according to the schedule for emptying and filling the reservoir and the spawning period of the fish whose reproductive conditions need to be protected.

Les frayères à constituer dans ces retenues annexes devront reproduire les caractères principaux des frayères naturelles: profondeur d'eau, nature des fonds, nature de la végétation. Elles peuvent être d'une grande efficacité malgré des superficies réduites, si elles sont équipées de supports adéquats pour les œufs de poissons (fascines, galets, branchages immergés). Il pourra être nécessaire de les protéger contre les prédateurs (filets, grilles). Leur réalisation nécessite évidemment une bonne connaissance des conditions de reproduction des poissons que l'on souhaite implanter et le concepteur du barrage devra s'assurer le concours de biologistes compétents.

Enfin, s'il existe dans la retenue des espèces de poissons considérées comme particulièrement précieuses, il est souhaitable de rechercher **un ajustement de la consigne d'exploitation** pour éviter les effets de marnage de la retenue pendant la période de reproduction de ces espèces. Les conséquences économiques de tels ajustements devraient être limitées dans la mesure où la reproduction de la plupart des espèces a lieu au printemps alors que les besoins de marnage se situent en hiver (énergie de pointe, régulation de crues) ou en été (irrigation). C'est ainsi qu'on a mis en évidence au barrage Sulejow, en Pologne, une bonne corrélation entre la densité des perches juvéniles en été et la stabilité du plan d'eau pendant la période de reproduction.

#### **2-4. ALEVINAGE ET INTRODUCTION D'ESPÈCES ÉTRANGÈRES**

Si la retenue offre des conditions propices à la nourriture des poissons mais défavorables à leur reproduction, on peut y remédier par l'alevinage, soit en déversant annuellement des alevins produits dans des écloseries spécialisées, soit en installant en bordure de retenue des canaux de reproduction artificiels (Fig. 14 et 15). Naturellement, ces écloseries spécialisées et ses canaux de reproduction ne peuvent être considérés qu'après des solutions plus « naturelles ».

De tels canaux ont une largeur de 3 à 7 m, une longueur de 200 m à 800 m. Ils ont un fond constitué d'une couche de graviers et galets d'un diamètre de 1 à 5 cm, la pente est de l'ordre de 0,60 m par km, l'épaisseur de la lame d'eau dépend de la dimension des poissons reproducteurs, l'ordre de grandeur étant de 25 à 35 cm, la vitesse du courant est de 0,3 m/s à 0,5 m/s. Ces valeurs sont des moyennes. Ce type d'aménagement doit être adapté à la biologie de l'espèce concernée.

Ces canaux peuvent être alimentés par pompage ou par prélèvement sur des ruisseaux affluents de la retenue. Il faut être attentif à la qualité de l'eau et à sa température qui doit être adaptée aux exigences du poisson au moment du frai. Il faut enfin équiper ces canaux de dispositifs évitant la prédation des alevins par les oiseaux et les poissons carnivores.

De tels canaux peuvent avoir une productivité considérable: c'est ainsi que deux canaux artificiels du lac Biwa au Japon ont produit en moyenne chaque année, de 1981 à 1990, 4,15 milliards d'alevins d'ayu (*Plecoglossus altivelis altivelis*). On y compte, dans les meilleures conditions, une production de 1,8 millions d'alevins par mètre carré de surface de canal utilisé pour la ponte.

Quant aux alevins provenant d'écloseries spécialisées, l'idéal est de recueillir des larves très jeunes et de procéder à leur grossissement dans des cages flottantes

The spawning grounds in these artificial reservoirs should have the same main characteristics as natural spawning grounds: water depth, type of bottom, type of vegetation. They can be very effective despite their limited size if they are adequately equipped to deal with the fish eggs (fascines, pebbles, submerged branches). It may be necessary to protect them from predators (nets, screens). A prerequisite for installing spawning grounds is a good level of knowledge about the reproductive conditions of the fish to be introduced and the designer of the dam will have to consult with biologists conversant in this particular field.

Finally, where the fishlife in the reservoir is particularly precious, **reservoir operating procedures should be adjusted** so as to protect the spawning grounds of these species from the effects of changes in level during the reproduction period. The economic effects of such modifications should be fairly limited in that most species reproduce in the spring, while changes in reservoir levels generally take place in winter (peak energy demand, flood control) or summer (irrigation). A successful example of restricting water release operations is the Sulejow dam in Poland, where there is a good correlation between the density of young perch in the summer and the stability of the water level during the reproduction period.

#### **2.4. FISH STOCKING AND INTRODUCTION OF NEW SPECIES**

When a reservoir can provide sufficient food for fish but the conditions are not conducive to reproduction, fish stocking can be considered. Young fish can be developed in special hatcheries and introduced into the reservoir once a year, or spawning channels can be created on the edge of the reservoir (Fig. 14 and 15). Obviously, special hatcheries and spawning channels can be considered but only after more “ natural ” solutions.

Such channels are usually 3 to 7 m wide and between 200 and 800 m long. They are lined with gravel and pebbles between 1 and 5 cm in diameter, and have a slope of the order of 0.60 m per km. The water depth will depend on the size of the reproducing fish, roughly 25 to 35 cm, and the current speed is generally between 0.3 m/s and 0.5 m/s. These are average values. This type of work must be adapted to the biology of the species concerned.

The channels may be supplied by pumping or by water from the streams flowing into the reservoir. The temperature and quality of the water must be suited to the requirements of the fish during spawning periods. The channels must be equipped with devices to protect the young fish from predators such as birds and carnivorous fish.

Such hatcheries can be extremely productive, as in the case of two man-made channels developed on the banks of lake Biwa in Japan, where an average of 4.15 billion young ayu (*Plecoglossus altivelis altivelis*) were raised each year between 1981 and 1990. In optimum conditions, 1.8 million young fish can be produced per square metre of channel used for spawning.

When stocking with young fish from special hatcheries, it is best to collect the larvae when they are very young and let them grow in floating cages placed in the

au sein de la retenue (Fig. 16). Les alevins sont ainsi familiarisés à leur nouveau milieu. La pratique de l'élevage de poissons en cage se développe de façon importante en Asie. Elle implique une bonne connaissance de la biologie des poissons, notamment pour le choix des alevins, de leur âge, de leur nourriture. Il faut, en outre, éviter qu'une nourriture excessive ne charge la retenue en azote et en phosphore.

Le choix des alevins à déverser dans une retenue doit résulter d'une analyse précise des conditions de vie que cette retenue offre à la faune piscicole, notamment la température, l'oxygène et le niveau d'eutrophisation, ainsi que le rapport entre le zooplancton et le phytoplancton. Il faut, en effet, réaliser un équilibre entre les ressources (zoo- et phytoplancton, benthos) et les prédateurs. Par exemple, il est possible de contrôler l'abondance de perches par l'introduction de brochets et de sandres. Il faut, à cette occasion, apprécier les effets de l'introduction d'espèces différentes des espèces indigènes de la rivière. Les espèces le plus couramment introduites en Europe sont le gardon, la perche, la truite fario, la truite arc-en-ciel, la truite de lac, la carpe. En Australie, c'est le cas de *Lates calcarifer* (Barramundi), *Macquaria ambigua* (golden perch), *Bydanus bydanus* (silver perch) et *Salmo trutta* (truite fario). Dans les pays tropicaux, il y a lieu de signaler la sardine du Tanganika (*Limnothrissa miodon*) qui s'est bien adaptée aux lacs Kariba et Cahora Bassa. Elle alimente d'importantes pêcheries et est vraisemblablement à l'origine de la disparition de *Salvinia molesta* qui avait envahi la retenue. À l'inverse, l'introduction de la perche du Nil qui est un prédateur redoutable a appauvri la biodiversité des lacs Victoria et Kyoga. *Nile tilapia* est aussi une espèce fréquemment utilisée pour peupler une retenue, mais avec un tel succès qu'elle diminue souvent la biodiversité en envahissant l'habitat des autres espèces, spécialement en Asie où elle a été introduite.

Cependant, l'introduction de nouvelles espèces peut donner lieu à des effets inattendus et dommageables. Ainsi, l'introduction d'espèces non indigènes ne devrait pas être considérée comme une bonne mesure compensatoire. Elle peut s'accompagner de l'introduction d'espèces non désirées, d'éléments pathogènes et de parasites. Par exemple, une importante population de saumons atlantiques est contaminée en Norvège et proche de l'extinction à cause de *Gyrodactylus salavis* introduite par l'alevinage.

Enfin, il faut prendre garde à ce que dans de nombreux pays l'introduction d'espèces non indigènes est contrôlée par la réglementation.

## **2.5. ÉDUCATION DES RIVERAINS ET CONTRÔLE DE LA PÊCHE**

Le lac de retenue crée des conditions de pêche différentes de celles de la rivière. La modification dans la distribution des espèces appelle aussi un changement dans la technique de pêche. Enfin, les populations qui sont susceptibles d'exploiter le potentiel piscicole de la retenue peuvent être différentes des populations qui étaient présentes sur le site avant la submersion.

Pour tirer parti de l'intérêt piscicole, il y a donc lieu d'assurer l'éducation de la population en la formant à des techniques de pêche adaptées.

reservoir (Fig. 16). In this way, the young fish are familiar with their new milieu. Cage-culture practices in reservoirs are increasing in all Asian countries. It requires good knowledge of the biology of fish, mainly for the choice of fingerlings, their size, their age and their food. It is important to avoid excess food being lost in the reservoir, which would increase its nitrogen and phosphorus content.

When stocking a reservoir with young fish, an analysis should be made of the environmental conditions which can be offered to the species to be introduced, with particular attention paid to temperature, oxygen and the zooplankton to phytoplankton ratio. Consideration must be given to the balance between predators and other resources (zooplankton, phytoplankton and benthos). For example, an over-abundant perch population can be controlled by introducing pike and pike perch. An assessment must be made of the effects of introducing species different from those native to the river. In Europe, the species most commonly used to stock reservoirs and lakes are the roach, perch, brown trout, rainbow trout, lake trout and carp. In Australia, the fish concerned are the *Lates calcarifer* (Barramundi), *Macquaria ambigua* (golden perch), *Bydanus bydanus* (silver perch) and the *Salmo trutta* (brown trout). In tropical zones, the Tanganyika sardine (*Limnothrissa miodon*) was successfully introduced into lakes Kariba and Cabora Bassa. It supplies extensive fishing grounds and is probably responsible for the disappearance of *Salvinia molesta* which had invaded the reservoir. On the other hand, the biodiversity of lakes Victoria and Kyoga has become poorer as a result of their being stocked with Nile perch, which is a formidable predator. *Nile tilapia* is also a species frequently used to stock reservoirs, but it is so successful that it often decreases biodiversity by taking on the habitat of other species, especially in Asia where it was introduced.

However, by introducing new species, unconsidered and harmful results may occur. Thus, the introduction of non-native species would not be a good mitigating measure. In addition to the fish, stocking may result in the introduction of unwanted species, pathogens and parasites: as an example, a large population of Atlantic salmon in Norway is threatened or close to extinction, due to *Gyrodactylus salavis* introduced by stocking.

Finally, care must be taken to ensure that the introduction of non-indigenous species is controlled by legislation.

## **2.5. EDUCATION OF LOCAL POPULATIONS AND CONTROL OF FISHING**

Dam reservoirs create fishing conditions which are different from those of the river. The change in the distribution of the species means that different fishing techniques must be introduced. Finally, the populations which are likely to exploit the fishing potential of the reservoir may not be the same populations that were present at the site before the reservoir was flooded.

To make the most of the fishing potential, the local populations must be taught to use new techniques.



Il faut éviter, en outre, que la facilité apparente des nouvelles conditions de pêche n'entraîne une surexploitation et empêche la formation d'un écosystème piscicole équilibré. Il faut donc établir une réglementation et un contrôle, principalement vis-à-vis des pêcheurs professionnels, pour assurer la pérennité de la qualité de la retenue.

## 2.6. BIBLIOGRAPHIE/BIBLIOGRAPHY

- |    |  |  |
|----|--|--|
| 13 | BALVAY 1985 - 28 pages                           | Structure et fonctionnement du réseau trophique dans les retenues artificielles. Gestion piscicole des lacs et retenues artificielles - INRA - France  |
| 14 | BELL 1986 - 290 pages                            | Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria - Chapter 27 - US Corps of Engineers - USA.   |
| 15 | BERUBÉ, GAGNON, HARDY, BARITEAU 1996 - 13 pages  | The stabilization of the Ottawa River banks : a comparative study between bioengineering methods and a method based on natural gravel embankments installed in winter. Ecohydraulique 2000 – Québec        |
| 16 | DE SILVA 1987 - 245 pages                        | Reservoir fishery management and development in Asia - Proceedings of a workshop held in Kathmandu, Nepal, 23-28 November 1987. International Development Research Center (IDR) Ottawa - Cairo - New-Delhi |
| 17 | DE SILVA 1990 - 276 pages                        | Reservoir fisheries of Asia - Proceedings of the 2nd Asian reservoir fisheries workshop held in Hang Zhou - People's Republic of China, 16-19 October 1990 - IDR   |
| 18 | GUERTIN, DEMERS, PERUSSE 1993 - 22 pages         | La Grande Rivière : an accord with its environment, a case study. Water Resources Development Volume 9 No. 4 - Canada  |
| 19 | HUTCHINSON 1987 - 12 pages                       | Trout hatcheries and fish stocking in aquatic biology and hydroelectric power development in New-Zealand. Oxford University Press  |
| 20 | JAMES BAY MERCURY COMMITTEE 1994-1995 - 44 pages | Report of activities   |
| 21 | JOWETT 1987 - 17 pages                           | Fish passage, control devices and spawning channels in aquatic biology and hydroelectric power development in New-Zealand. Oxford University Press   |

Care must also be taken to ensure that the new advantageous fishing conditions do not lead to overfishing, which would prevent the development of a balanced fish ecosystem. Regulations and monitoring techniques must therefore be established, essentially with respect to professional fishermen, so as to ensure that the quality of the reservoir is maintained.

- |    |  |  |
|----|--|--|
| 22 | LAMARE, BACHET, COOK 1985 -<br>8 pages                               | Elevage en cage flottante de truites fario<br>juvéniles dans une retenue artificielle du<br>Verdon - Gestion piscicole des lacs et retenues<br>artificielles - INRA - France                                 |
| 23 | LAKE BIWA DEVELOPMENT<br>OFFICE - 18 pages                           | Ayu on lake Biwa - Artificial Rivers serving as<br>spawning grounds for ayu - Japan  |
| 24 | NUSH 1993 - 4 pages  | Water quantity and quality in lakes and reservoirs<br>for human uses - 5 th international conference<br>on the conservation and management of lakes<br>- Stresa - Italy                                      |
| 25 | RICHARD, ARNOUX, CERDAN 1997 -<br>26 pages                           | Evolution de la qualité physico-chimique des<br>eaux de la retenue et du tronçon aval depuis le<br>début de la mise en eau du barrage de Petit-<br>Saut. Revue d'Hydroécologie appliquée,<br>tome 9 - France |
| 26 | ROFE 1995 - 30 pages   | Reservoirs : an environmental gain - Institution<br>of Civil Engineers - U.K.  |
| 27 | TRAVADE, ENDERLE, GRAS 1985 -<br>38 pages                            | Retenues artificielles : gestion hydraulique et<br>ressources piscicoles. Gestion piscicole des<br>lacs et retenues artificielles - INRA - France  |
| 28 | WATER RESOURCES<br>ENVIRONMENT TECHNOLOGY<br>CENTER 1992 - 56 pages  | Environmental and ecological considerations in<br>dam projects in Japan.   |
| 29 | WATER RESOURCES<br>ENVIRONMENT TECHNOLOGY<br>CENTER 1994 - 106 pages | Water, greenery and animal life. Natural<br>environment of dam reservoirs in Japan.  |
| 30 | WEIBEZAHN 1994 - 13 pages  | Lake Guri (Venezuela) - Preliminary<br>limnological characterization of a large<br>tropical black water reservoir. Internal review<br>geo-hydrobiology - Venezuela   |
| 31 | WORTHINGTON, LOWE,<br>MC CONNELL 1994 - 14 pages                     | African lakes reviewed : creation and<br>destruction of biodiversity - Environmental<br>conservation, volume 21 n° 3 - U. K.   |

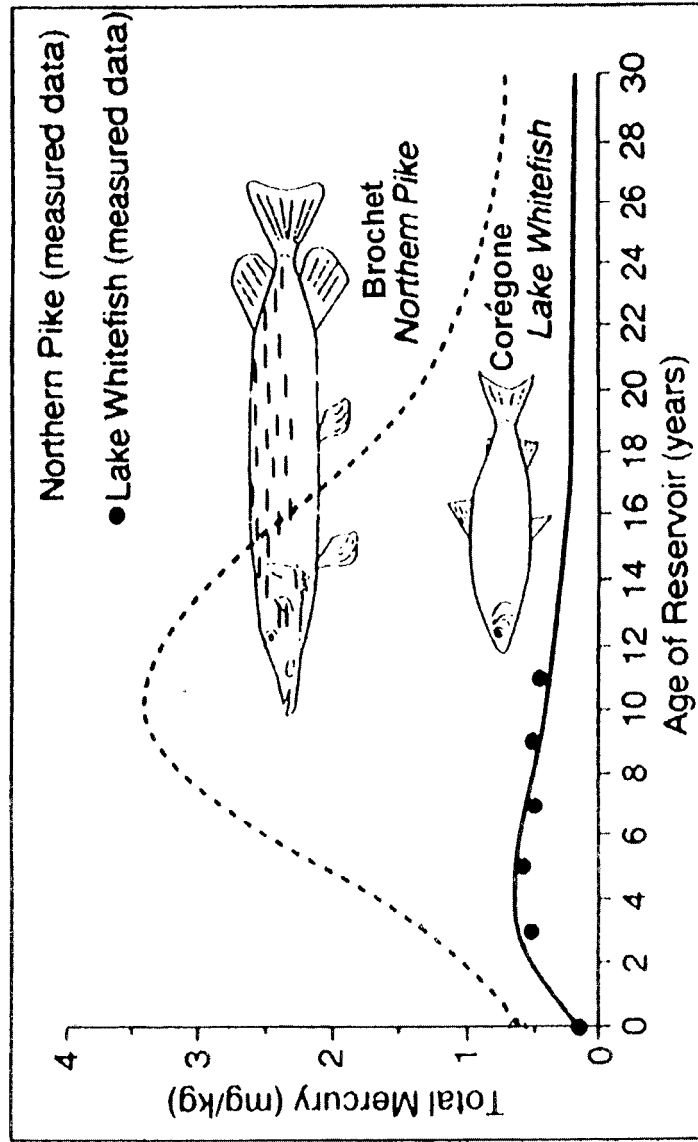


Fig. 8

Theoretical model of the evolution of mercury in the flesh of lake whitefish and northern pike for La Grande-2 reservoir (Canada)  
*Modèle théorique de l'évolution du taux de mercure dans le corps des corégones et des brochets de la retenue La Grande-2 (Canada)*

Taux de mercure (mg/kg)

Âge de la retenue (ans)

Total mercury (mg/kg)

Age of reservoir (years)

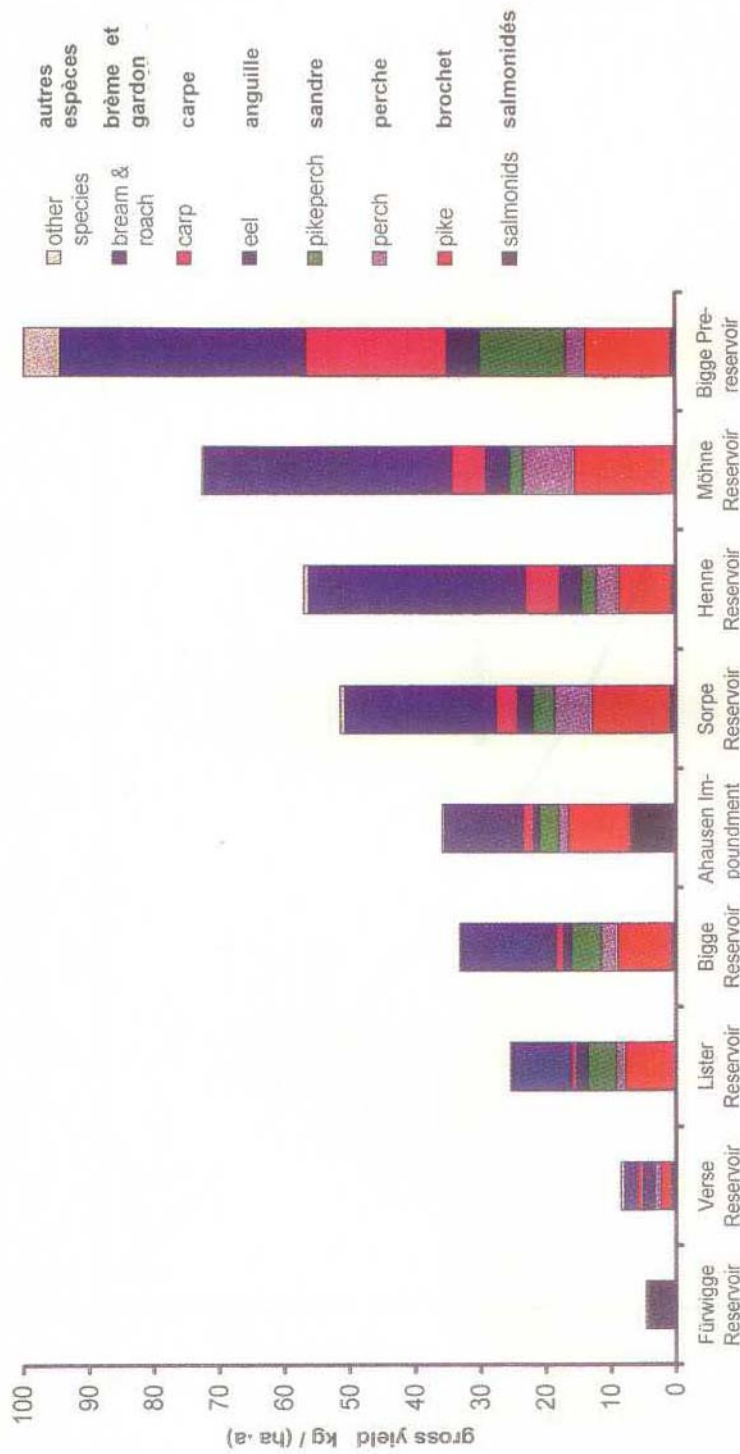


Fig. 9

Total annual catch of different fish species in reservoirs of Ruhr River Association, Germany (Mean 1989 - 1994)

Capture globale annuelle de différentes espèces de poissons dans des retenues de la Ruhr, Allemagne (moyenne 1989 - 1994)

Prise globale annuelle, kg/(ha.a)

Gross yield, kg/(ha.a)

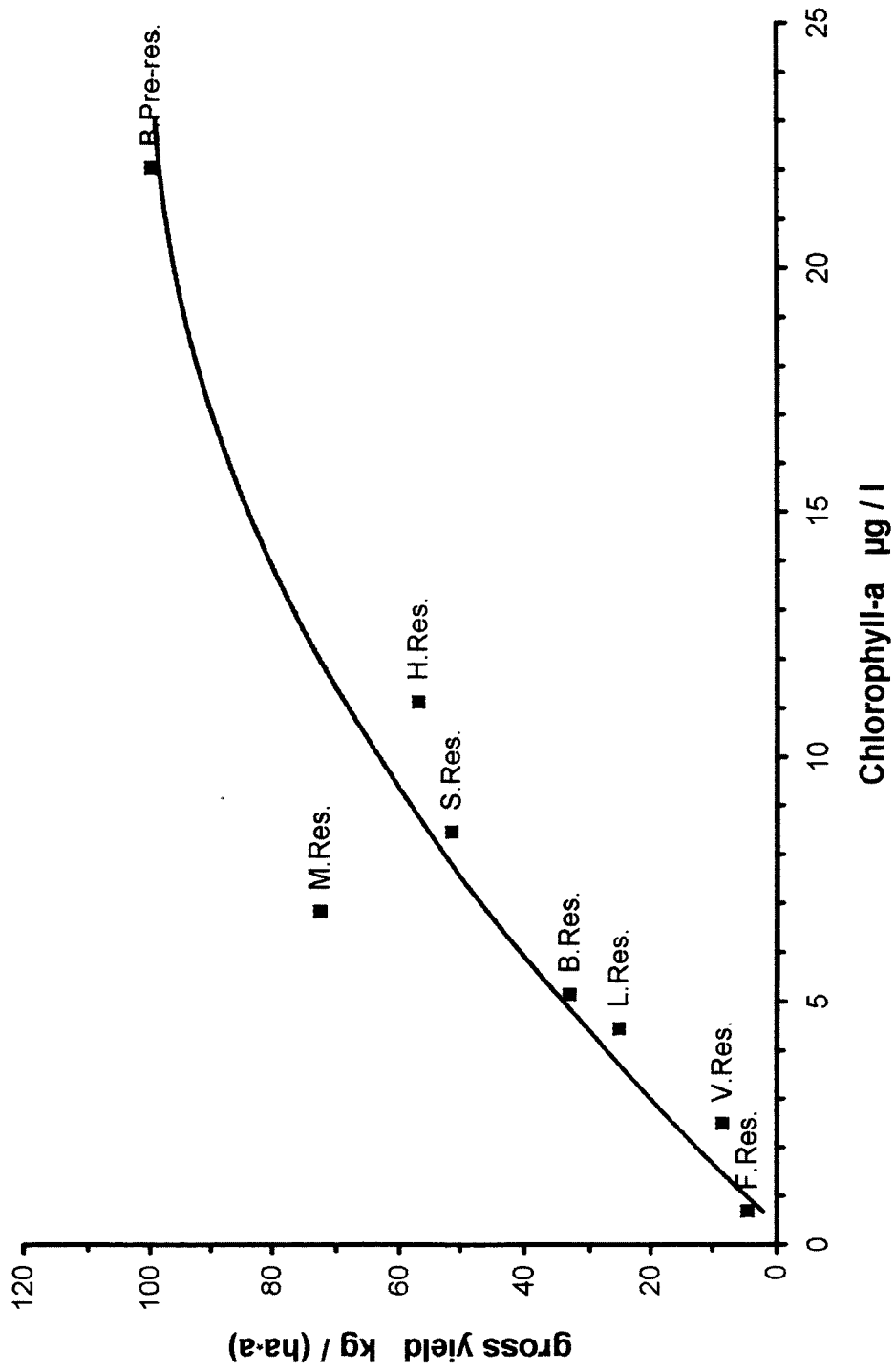


Fig. 10  
 Relationship between the chlorophyll-a content and the gross yield of fish, caught in reservoirs of Ruhr River Association, Germany (Mean 1989 - 1994)  
*Relation entre la teneur en chlorophylle a et la production globale de poissons dans des retenues de la Ruhr, Allemagne (moyenne 1989 - 1994)*

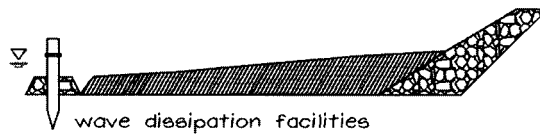
Gross yield, kg/(ha.a)	Chlorophyll-a, µg/l
F. Res.	Fürwige Reservoir
V. Res.	Verse Reservoir
L. Res.	Lister Reservoir
B. Res.	Bigge Reservoir
S. Res.	Sorpe Reservoir
H. Res.	Henne Reservoir
M. Res.	Möhne Reservoir
B. Pre-res.	Bigge Pre-reservoir

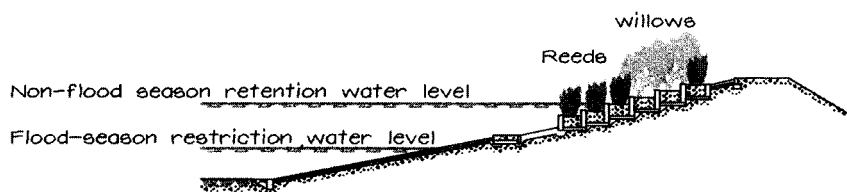
Prise globale annuelle, kg/(ha.a)	Teneur en chlorophylle a, µg/l
Retenue Fürwige	
Retenue Verse	
Retenue Lister	
Retenue Bigge	
Retenue Sorpe	
Retenue Henne	
Retenue Möhne	
Pré-retenue Bigge	

Reedbed  
Typical section

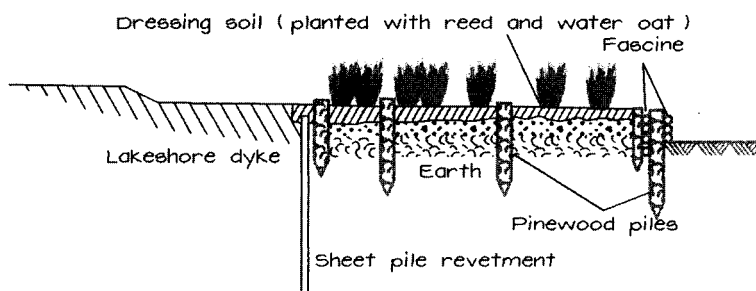
Growing area 10 - 30m  
Planting area 10m



Lac Biwa



Upper Tone River works Office

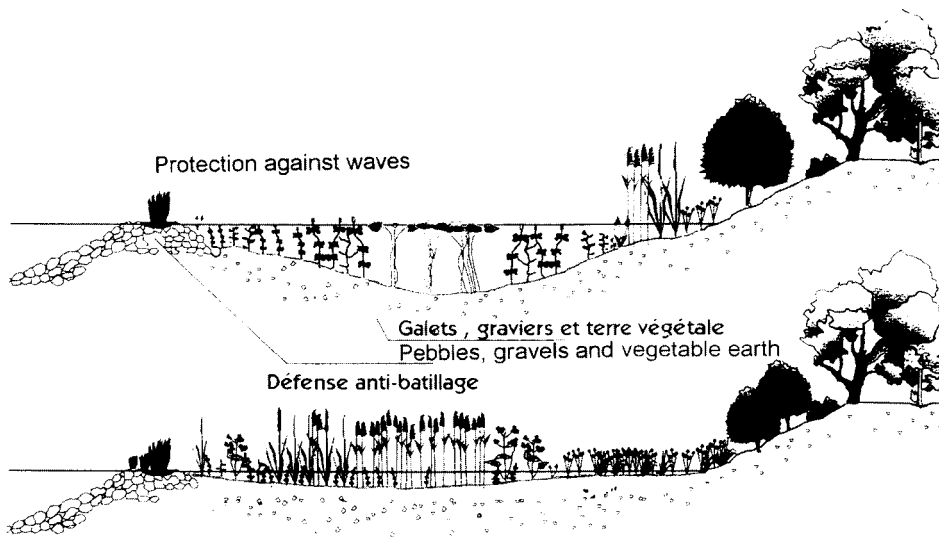


Takase River Integrated Development Project Office

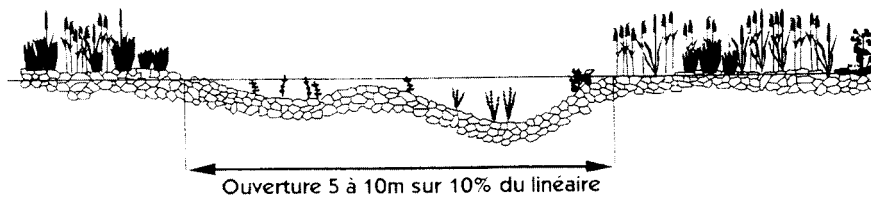
Fig. 11  
 Some bank equipment in Japan  
*Divers aménagements de rives au Japon*

Reedbed	<i>Roselière</i>
Typical section	<i>Coupe transversale type</i>
Growing area 10 - 30 m	<i>Zone de croissance 10 - 30 m</i>
Planting area 10 m	<i>Zone de plantation 10 m</i>
Wave-dissipation facilities	<i>Protection anti-batillage</i>
Willows	<i>Saules</i>
Reeds	<i>Roseaux</i>
Non-flood season retention water level	<i>Niveau de retenue en dehors de la saison des crues</i>
Flood-season restriction water level	<i>Réduction du niveau de retenue en période de crues</i>
Dressing soil (planted with reed, and water oat)	<i>Traitement du sol (plantation de roseau, avoine aquatique)</i>
Fascine	<i>Fascines</i>
Lakeshore dyke	<i>Digue en bordure du lac</i>
Earth	<i>Terre</i>
Sheet pile revetment	<i>Rideau de palplanches</i>
Pinewood piles	<i>Pieux en bois de pin</i>





**Coupe en travers de la rive**  
**Cross section through the bank**



**Vue le long de la rive face à la protection anti-batillage**  
**View along the bank in front of the protection against waves**

Fig. 12  
Design of bank equipment for the navigable waterway Saône-Rhine (France)  
*Projet d'aménagement de rives pour les retenues de la liaison navigable Saône - Rhin (France)*

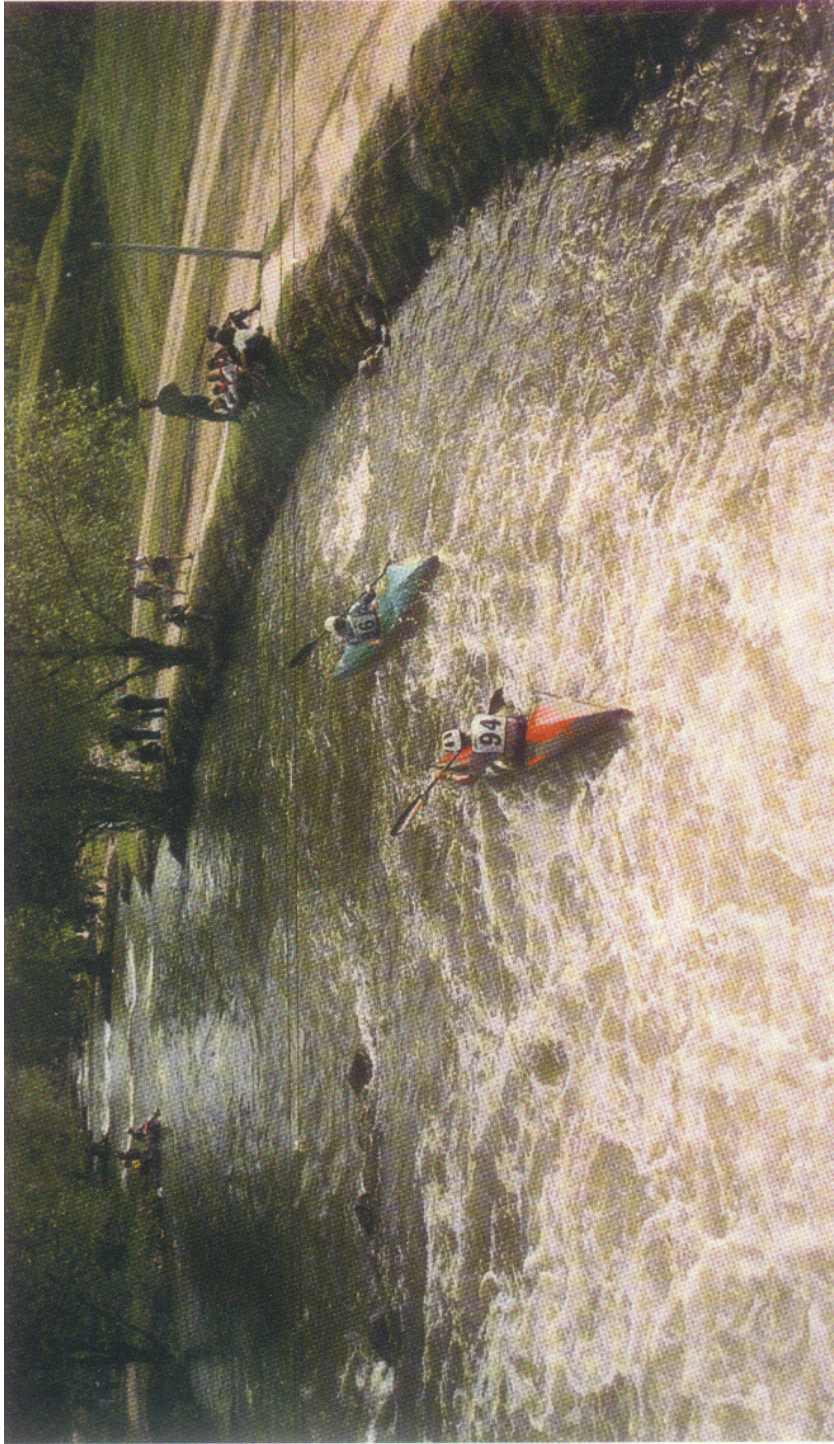


Fig. 13

St-Pierre-de Beauf artificial river (Péage-de-Roussillon dam, France)  
*Rivière artificielle de Saint-Pierre-de-Beauf (barrage du Péage-de-Roussillon, France)*



Fig. 14  
An ayu spawning channel on Lake Biwa (Japan)  
*Canal de reproduction d'ayu sur le lac Biwa (Japon)*

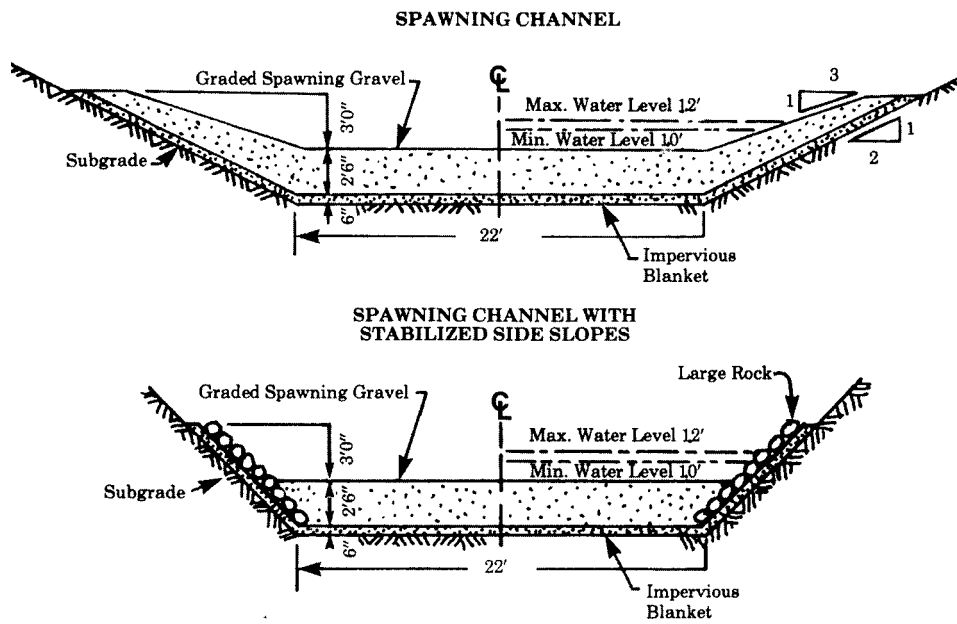


Fig. 15

Typical cross-section of a spawning channel in the USA  
*Coupe transversale type d'un canal de reproduction aux États-Unis*

Spawning channel	<i>Canal de reproduction</i>
Graded spawning gravel	<i>Couche de gravier trié</i>
Subgrade	<i>Sous-couche</i>
Impervious blanket	<i>Tapis étanche</i>
Max. water level	<i>Niveau d'eau maximal</i>
Min. water level	<i>Niveau d'eau minimal</i>
Spawning channel with stabilized side slopes	<i>Canal de reproduction avec talus latéraux stabilisés</i>
Graded spawning gravel	<i>Couche de gravier trié</i>
Subgrade	<i>Sous-couche</i>
Impervious blanket	<i>Tapis étanche</i>
Large rock	<i>Gros enrochement</i>

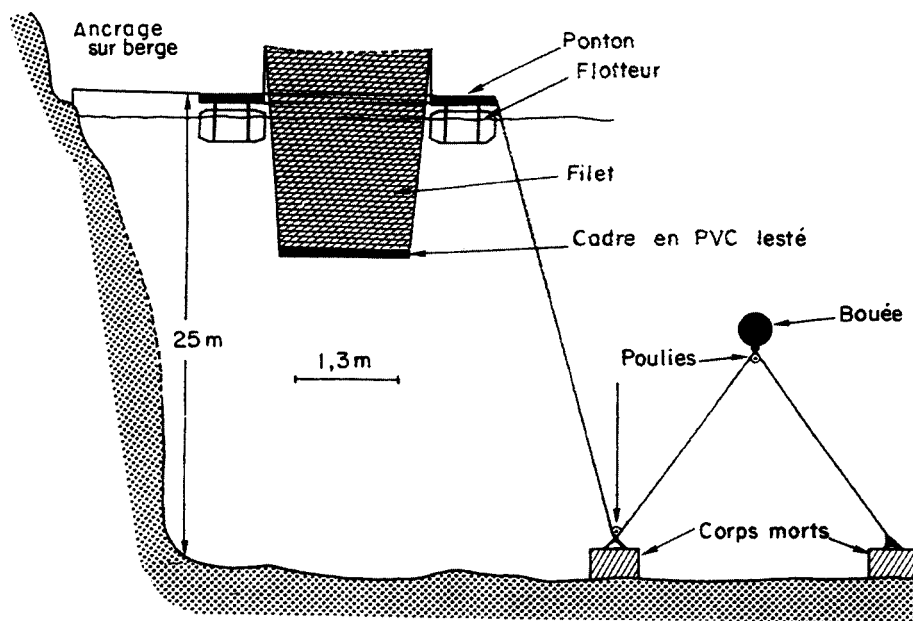


Fig. 16

Fish farming equipment in a reservoir (from Lamare, Bachet, Cook, INRA)  
 Dispositif d'élevage de poissons dans une retenue (d'après Lamare, Bachet, Cook, INRA)

Anchorage on the bank	<i>Ancre sur berge</i>
Footpath	<i>Ponton</i>
Float	<i>Flotteur</i>
Filet	<i>Net</i>
Ballasted PVC framework	<i>Cadre en PVC lesté</i>
Buoy	<i>Bouée</i>
Pulleys	<i>Poulies</i>
Moorings	<i>Corps morts</i>



---

## 3. LE FRANCHISSEMENT DES BARRAGES PAR LES POISSONS

---

### 3.1. GÉNÉRALITÉS

Les barrages constituent des obstacles au déplacement des poissons et peuvent ainsi faire disparaître certaines espèces pour lesquelles ces déplacements sont un besoin vital. Il est donc parfois imposé par la réglementation et à tout le moins souhaitable de les équiper de dispositifs de franchissement. Ceux-ci sont indispensables pour les poissons migrateurs. Ils sont également utiles pour les autres poissons. En favorisant les échanges entre retenues, ils entretiennent la biodiversité et étendent la zone d'influence des frayères.

De tels ouvrages de franchissement des barrages par les poissons ont été construits en grand nombre dans de nombreux pays depuis un siècle. Toutefois, beaucoup se sont avérés, à l'usage, inefficaces. En outre, les investissements ont été le plus souvent orientés vers les poissons migrateurs à valeur marchande élevée (saumon), mais les ouvrages correspondants ne sont pas nécessairement adaptés aux autres espèces.

Ces barrages, obstacles à la migration, ne sont pas nécessairement des grands barrages. Par exemple, dans le sud-est de l'Australie, la moitié des 228 rivières sont devenues inaccessibles aux migrateurs. Sur 293 barrages étudiés, 30 étaient des barrages de marée, 96 étaient des petits barrages et seuils, et 56 étaient des barrages moyens.

Le développement des connaissances depuis une vingtaine d'années permet aujourd'hui de concevoir des ouvrages efficaces pour beaucoup d'espèces de poissons. On évoquera, ci-après, tout d'abord quelques règles générales qui s'appliquent quel que soit le type d'ouvrage choisi, puis on précisera les éléments technologiques principaux relatifs à ces différents ouvrages (échelles, passes Denil, écluses, ascenseurs, ouvrages de dévalaison).

Les règles générales portent sur les points suivants :

#### 3.1.1. Opportunité et efficacité

Lorsqu'il s'agit d'un barrage isolé, l'ouvrage de franchissement n'est utile que s'il existe un habitat convenable à l'amont. Lorsqu'il s'agit d'une chaîne de barrages équipant une rivière, il faut considérer que chaque ouvrage représente des risques d'échec et nécessite un certain temps de franchissement. Il n'a pas nécessairement une efficacité de 100 %. La plupart des espèces disposent d'un temps limité entre le moment où elles entreprennent la migration et le moment de la ponte. Il faut donc être d'autant plus exigeant que la chaîne comporte de nombreux barrages.

Il faut considérer le problème dans l'ensemble de la rivière. Souvent, il existe de nombreux petits barrages, voire de simples seuils déversants, qui stoppent la migration des poissons et qu'il faut équiper en priorité, s'ils se trouvent en aval des

---

## 3. FISH PASSES THROUGH DAMS

---

### 3.1. GENERAL

Dams act as barriers to the movement of fish and may thus lead to the disappearance of certain species which need to migrate in order to survive. It is therefore sometimes required by regulations and in any case desirable to provide suitable fish pass structures for migrating fish. Such structures will also be useful for communication between reservoirs and will help maintain diversity among plant and animal species.

Over the last century, a great many fish pass structures have been built in numerous countries. However, many have proved ineffective. Moreover, investment has generally been concentrated on fish of high commercial value (salmon) but the structures provided have not necessarily been suitable for other species.

Dams which constitute obstacles to migration are not necessarily large. For example, in south-east Australia, half of the 228 rivers have become inaccessible to migrating fish. Of the 293 dams studied, 30 were tidal barriers, 96 were small barrages or sills, and 56 were medium sized dams.

Over the last twenty years, improved knowledge has resulted in the design of fish pass structures suited to a great many species. A few general rules concerning the selection of fish pass structures are mentioned below, followed by a more detailed look at the main technical aspects of these different structures (ladders, Denil fishways, locks, elevators, structures to facilitate the descent of rivers by fish).

The general rules concerning the choice of fish pass structures are as follows:

#### 3.1.1. Appropriateness and effectiveness

In the case of a single dam, a fish pass structure is useful only if there are suitable habitats upstream. In the case of a series of dams on a river, each structure represents a risk and requires a certain amount of time to cross. The efficiency rate is not always 100 %. Most species have only a limited amount of time from the start of migration and the spawning period. Even greater care should therefore be taken when a scheme comprises a large number of dams.

The river should be considered as a whole. A river scheme often includes a great many small dams, or even just weirs, which prevent fish from migrating. Priority must be given to equipping these structures with fish passes if they are



grands barrages. Lorsque le nombre des barrages est très important, l'efficacité des ouvrages de franchissement peut décroître de l'aval vers l'amont en raison du temps total nécessaire et de la fatigue des poissons. Aussi, on peut être conduit pour les ouvrages d'amont à renoncer aux ouvrages de franchissement et avoir recours à des captures de poissons et des transports vers les zones de frayères.

Enfin, il faut considérer le problème dans les deux sens et se préoccuper aussi bien de la dévalaison que de l'ascension des poissons.

### **3.1.2. Choix des espèces cibles**

Les ouvrages de franchissement sont à concevoir et à dimensionner en fonction des performances et de la taille des poissons que l'on souhaite faire passer. Il faut donc, en premier lieu, définir les espèces cibles qui sont à retenir en raison de leur intérêt biologique (rareté de l'espèce, conservation du patrimoine génétique) ou économique (valeur alimentaire, valeur de loisir). En outre, il faut faire attention à ce que certaines espèces ne sont pas rares mais très importantes dans la chaîne alimentaire de l'écosystème de la rivière. Ces espèces doivent donc être prises en compte. Il faut évidemment tenir compte aussi des obligations légales qui peuvent exister pour telle ou telle espèce.

Ainsi, les passes à poissons sont des mesures compensatoires très sélectives. Si l'ascension d'une espèce est rendue possible, il faut examiner les conditions qu'elle rencontrera dans la retenue du point de vue de la population piscicole dans sa globalité. Dans les rivières importantes, les prédateurs et leurs proies migrent souvent en même temps, par exemple au début de la mousson en Asie. La sélectivité des passes à poissons devient alors une question critique pour l'écologie des réservoirs.

### **3.1.3. Accessibilité aux ouvrages de franchissement**

Les poissons doivent pouvoir rapidement trouver l'entrée des ouvrages de franchissement. Il faut donc que le champ des courants les guide naturellement vers celle-ci. En général, les poissons butent sur les zones de forte turbulence en pied de barrage. Il faut donc qu'ils trouvent, avant celles-ci, mais au plus près, des zones de courants plus laminaires à vitesse suffisante pour les orienter, mais qui ne soit pas non plus trop forte et ne dépasse pas leur capacité de nage (vitesse de croisière). D'une manière générale, pour que cette zone de courant qui oriente les poissons soit efficace, il faut qu'elle soit le siège d'un débit en proportion du débit du barrage. On considère que ce débit doit être de 1 à 5 % du débit total. Cette accessibilité des ouvrages est essentielle et de nombreux échecs sont dus à une mauvaise conception des accès. En général, l'entrée doit être située à proximité du débouché du barrage et des aspirateurs de la centrale hydroélectrique.

L'entrée est à étudier pour les différents régimes de débit. En effet, les variations de débit entraînent, tant à l'amont qu'à l'aval, des variations de niveau qui peuvent changer radicalement la distribution des courants; on peut donc être amené à prévoir plusieurs entrées et sorties pour l'ouvrage de franchissement afin qu'il puisse être trouvé par les poissons pour différents régimes de la rivière.

downstream of large dams. Where there is a very large number of dams, the fish passes may become less efficient further upstream because of the total time taken by the fish to reach these zones and the fact that they may be exhausted by their journey upstream. In some cases, it is more effective to capture fish and transport them to the spawning areas rather than constructing passes on the upstream structures.

Finally, fish must not only be allowed to migrate upstream, they must also be able to descend the rivers. Attention should also be given to this aspect.

### **3.1.2. Choice of target species**

Fish pass structures must be designed according to the performance and size of the fish which are to use them. In the first instance, therefore, it is a question of determining the species to be maintained because of their biological value (rare species, conservation of genotypes) or their economic value (food, recreational fishing). In addition, it should be noted that some species are not rare but are extremely important in the food chains of a river's ecosystem. Therefore, these species should be considered as well. Obviously, it is also important to respect any legal requirements with respect to certain species.

Therefore, fish passes are very selective mitigation measures. If a species' migration upstream is facilitated, the conditions that it will encounter in the reservoir must be examined from the point of view of the whole fish community. In big rivers with rich fish communities, migration of both predator and prey populations often occurs at the same time, such as at the beginning of the monsoon migrations in Asia. The selectivity of fish passage devices then becomes a critical issue for reservoir ecology.

### **3.1.3. Accessibility of fish pass structures**

The fish must be able to quickly find the entrance to passing structures. The currents must therefore guide them naturally towards the entrance. Generally, the fish are driven away by areas of strong turbulence at the foot of the dam. Just before reaching such zones, they must therefore be guided by more laminar currents which are fast enough to attract them but which do not exceed their swimming capacity (cruising speed). Generally speaking, for the current to be effective in directing the fish, the flow rate in the zone must be in proportion to the discharge from the dam. It is considered that this flow rate should be of the order of 1 to 5% of the total flow rate. Accessibility is an important aspect and the failure of a great many fish pass structures is due to the poor design of the entrance. In general, the entrance should preferably be located adjacent to the controlled discharge from the dam, e.g. outlet works of hydropower station draft tubes.

The accesses to fish pass structures must be adapted to the different flow regimes. In fact, variations in flow rate lead to changes in level both upstream and downstream of the dam which can radically change the distribution of currents. It is therefore sometimes necessary to equip fish pass structures with several entrances and exits so that they can be found by the fish without difficulty irrespective of the river's regime.

Le débouché des passes à poisson dans la retenue doit aussi être convenablement situé de manière que les poissons ayant franchi la passe ne soient pas entraînés par les prises d'eau et les déversoirs.

#### **3.1.4. Lutte contre la prédation**

Les ouvrages de franchissement et leurs accès constituent des zones étroites où se concentrent les espèces cibles. Elles se trouvent, de ce fait, particulièrement vulnérables aux prédatations. Il faut donc les protéger par des dispositifs appropriés contre les oiseaux ou les poissons carnassiers. Il faut aussi, naturellement, y interdire la pêche.

#### **3.1.5. Entretien et suivi**

Comme tout ouvrage hydraulique, l'ouvrage de franchissement par les poissons a besoin d'être entretenu (érosion, engrèvement, obstruction par les corps flottants, grippage des pièces mécaniques, etc.).

Ce facteur peut être déterminant dans le choix du système et, en tout cas, ne doit pas être négligé dès la construction en prévoyant notamment les facilités d'accès et de batardage.

En outre, il est nécessaire de s'assurer de l'efficacité de l'ouvrage en mettant en place des dispositifs de comptage permettant de dénombrer les franchissements.

D'une manière plus générale, il faudra prévoir, au début du fonctionnement d'un tel ouvrage, une observation du comportement des poissons afin de corriger éventuellement quelques défauts et améliorer la connaissance.

Le coût de l'entretien et du suivi est à prévoir dans le plan de financement des ouvrages de franchissement.

### **3.2. ÉCHELLES À POISSONS**

#### **3.2.1. Nature et domaine d'utilisation**

Les échelles à poissons ou passes à poissons sont le dispositif le plus couramment utilisé. Elles sont constituées de bassins successifs délimités par des parois déversantes ou pourvues de fentes verticales ou d'orifices appropriés, qui répartissent la chute en dénivellations successives de 10 à 40 cm, le plus souvent de l'ordre de 20 cm.

Elles sont utilisables pour des chutes faibles et équipent souvent les petits barrages. Compte tenu du temps nécessaire pour les franchir et du coût croissant avec la chute, il existe vraisemblablement une limite dans la hauteur totale franchissable par une échelle à poissons. Il y a peu d'échelles pour des chutes dépassant la trentaine de mètres. Cependant, en Norvège, la plus haute atteint 46 m et elle fonctionne de manière satisfaisante. Une autre limitation est d'ordre

Fish pass outlets into reservoirs must also be sited at suitable locations to ensure that fish are not captured by intake structures or spillway headworks.

#### **3.1.4. Protection from predators**

Fish pass structures and their entrances are confined areas where the target species concentrate, making them particularly vulnerable to predators. Special devices must therefore be provided to protect them from birds and carnivorous fish. It goes without saying that fishing should be prohibited in these particular zones.

#### **3.1.5. Maintenance and monitoring**

As in the case of any hydraulic structure, fish passes must be properly maintained in order to avoid problems due to erosion, silting up, obstruction by floating objects, seizing up of mechanical parts, and so on.

This is an important factor to be considered in the choice of system and should not be neglected during construction, when access facilities and stoplogs must be provided for.

In addition, counting devices should be installed in order to estimate the number of fish crossing the structure and thereby determine its efficiency.

From a more general point of view, when a fish pass structure is first put into operation, observations should be made of the behaviour of fish. This will not only contribute to improving knowledge but also enable any defects in the system to be corrected.

Maintenance and monitoring costs should be included in the financial program for the fish pass structures.

### **3.2. FISH LADDERS**

#### **3.2.1. Type and extent of use**

Fish ladders or passes are the most commonly used fish pass structures. They are made up of successive pools bounded by walls equipped with overflow weirs, vertical slots, or submerged orifices which distribute the head over successive drops of 10 to 40 cm, most often around 20 cm.

They can be used for low-head dams and are most often used to equip small barrages. Given the length of time needed by fish to negotiate this type of structure, and the higher cost for greater heads, there is probably a limit to the total height that can be crossed by a fish ladder. Apparently, there are few fish ladders in operation for schemes with drops greater than 30 metres. However, in Norway the highest is 46 m high and this is operating satisfactorily. Another limit is the

économique. Par exemple, en Australie, on considère que 5 m est la limite supérieure pour des échelles à poissons dont les dénivellations entre bassins sont comprises entre 10 et 15 cm.

À l'inverse, pour les faibles chutes, il peut être possible dans certains cas (faibles variations du niveau amont) d'assurer le franchissement du barrage par une rivière artificielle le court-circuitant, du type de celle présentée dans la Figure 13. Cette formule est la plus efficace et la plus proche des conditions naturelles. Son inconvénient est sa faible pente (1 à 2 %) qui la limite à des chutes faibles.

Beaucoup d'échelles à poissons ont été réalisées pour les saumons en raison tant de l'intérêt économique de ces espèces que de leurs performances physiques remarquables qui les rendent particulièrement aptes au franchissement des obstacles. Elles ne sont pas nécessairement praticables par d'autres espèces. Chaque échelle doit être adaptée à l'espèce cible. C'est ainsi que les cyprinidés ou des espèces peu performantes (aloses) impliquent des précautions spéciales.

### 3.2.2. Parois séparant les bassins

La connaissance de l'espèce cible permet de concevoir les parois séparant les bassins, c'est-à-dire la dénivellation à franchir entre bassins, la forme et la dimension des ouvertures (Fig. 17, 18 et 19) (\*).

La dénivellation admissible est définie par la vitesse du courant susceptible d'être franchie par le poisson en régime de pointe. Pour fixer les ordres de grandeur, on peut se référer au tableau ci-après :

Dénivellation (m)	Vitesse maximale dans la veine contractée (m/s)	Espèces de poissons adaptées
0,10	1,2	espèces à faible vitesse de nage
0,15	1,7	carnassiers, aloses
0,30	2,4	truite, chevesne, barbeau
0,45	3,0	truite de mer
0,60	3,5	grands salmonidés

À noter que les vitesses de pointe que peuvent atteindre les poissons dépendent évidemment des espèces, mais, en outre, sont d'autant plus grandes qu'ils sont plus longs et que la température de l'eau est plus élevée (dans les limites de leur *preferendum* thermique).

La taille des ouvertures ou des fentes dans les parois définit l'hydraulique du système. Elle doit être adaptée à la taille et aux performances des poissons.

Le déversement à travers une échancrure est adapté aux poissons sauteurs (truite, saumon). L'orifice de fond ou la fente sont adaptés aux poissons nageant en

(\*) Les Figures 17 à 29 sont données à la fin du Chapitre 3 (pages 108 à 122).

economic factor. In Australia, 5 m is considered the upper economic limit for fish ladders where drops between pools are limited to 10 to 15 cm.

On the other hand, for low heads, it may be possible in certain cases (where there is little variation in upstream level) to use an artificial river of the type shown in Figure 13 to bypass the dam. This is the most efficient method and the one which is closest to natural conditions. The disadvantage is its gentle slope (1 to 2 %), which limits it to low-head projects.

A lot of fish ladders have been constructed for salmon because of the economic value of this species and also because of their remarkable physical performance, in particular their aptitude for jumping obstacles. They cannot necessarily be negotiated by other species. Each ladder must be suited to the target species, so that it is necessary to take special precautions for Cyprinidae and less robust species (alosa).

### 3.2.2. Baffle walls between the pools

It is important to know which fish are to use the fish ladders in order to design the baffle walls between the pools, that is to determine the vertical drop between two pools and the shape and size of the openings. (Fig. 17, 18 and 19) (\*).

The permissible drop is determined by the speed of the current which has to be negotiated by the fish during peak flow conditions. The following table can be used to determine the acceptable values.

Drop (m)	Maximum velocity at the vena contracta (m/s)	Target species
0.10	1.2	species with restricted swimming speed
0.15	1.7	carnivorous species, alosa
0.30	2.4	trout, chub, barbel
0.45	3.0	sea trout
0.60	3.5	large Salmonidae

It should be remembered that the peak speeds reached by the fish will obviously depend on the species but, in addition, the longer the fish and the higher the water temperature, the faster the fish will swim (within the limits of their thermal preferendum).

The size of the slots or orifices in the baffles will determine the hydraulics of the system. It must be suited to the size and performance of the fish.

Overflow weirs are suitable for fish that can jump (salmon, trout). Submerged orifices or slots are suitable for fish which swim in the current. In the case of a weir,

(\*) Fig. 17 to 29 are given at the end of Chapter 3 (pages 108 to 122).

plein courant. Dans le cas du déversement, celui-ci peut être dénoyé avec ressaut pour les saumons, il doit être noyé avec ressaut ondulé pour les espèces plus fragiles (aloses). La taille des ouvertures, principalement des fentes ou des orifices de fond, doit être adaptée à la dimension des poissons. Elle doit être au minimum de 15 cm et peut atteindre pour les aloses et les grands salmonidés, 45 cm.

Un élément important est la sensibilité de l'écoulement de l'eau à travers les parois aux variations du niveau amont.

Les seuils déversants sont très sensibles, le débit et la vitesse croissant rapidement avec la charge, de sorte qu'une variation même limitée du niveau amont peut rendre l'échelle à poissons infranchissable.

Les fentes et les orifices de fond sont beaucoup moins sensibles à de telles variations, de sorte que les échelles constituées selon ces dispositifs sont d'un emploi plus large.

Les orifices de fond présentent l'inconvénient d'être facilement obstrués par des corps solides et sont d'un entretien délicat.

Il semble ainsi qu'actuellement les parois à fentes verticales sont le plus souvent préconisées pour les passes à gros débit. Pour les petites passes, ce sont les parois à échancrures profondes.

Pour être complet, il convient, enfin, de mentionner les parois déversantes à seuil incliné (en forme de V) qui corrigent, dans une certaine mesure, la sensibilité du débit aux variations de niveau.

### 3.2.3. Bassins

Les bassins entre deux parois déversantes ont, en général, une forme rectangulaire. La profondeur doit être suffisante, dans le cas où l'espèce de poisson concernée franchit l'obstacle par saut, pour lui permettre de prendre son élan. Ainsi, pour les saumons, cette profondeur est d'au moins 1 m. Pour les cyprinidés, elle peut descendre à 60 cm.

Le volume du bassin dépend du débit et du flux de poisson que l'on souhaite faire passer. On considère à cet égard que le volume du bassin doit être de l'ordre de 0,120 m<sup>3</sup> par kg de poissons. Généralement, la largeur du bassin se situe entre 1 et 3 mètres. La longueur doit être telle que le bassin offre aux poissons des zones de faible courant et de faible turbulence pour leur permettre de reprendre des forces après franchissement de l'obstacle. Elle doit être supérieure à 3 longueurs de poisson.

D'une manière générale, on considère que la puissance à dissiper dans le bassin ne doit pas dépasser une certaine valeur (150 watts par mètre cube pour les cyprinidés, 200 watts pour les salmonidés). Cette puissance (kW/m<sup>3</sup>) s'exprime par la formule

$$P = \frac{\rho g Q H}{V}$$

où  $\rho$  est la densité de l'eau (t/m<sup>3</sup>),  $g$  l'accélération de la pesanteur (m/s/s),  $Q$  le débit (m<sup>3</sup>/s),  $H$  la chute entre bassins (m) et  $V$  le volume du bassin (m<sup>3</sup>). Ce critère détermine, le plus souvent, la longueur du bassin, compte tenu du fait que la profondeur et la largeur sont déterminées par d'autres considérations.

it can be submerged, with a hydraulic jump for salmon and an undular jump for more fragile species (alosa). The size of the openings, essentially slots or submerged orifices, must be suited to the size of the fish. The minimum size is generally 15 cm but it can be as large as 45 cm for large fish such as alosa and large Salmonidae.

An important consideration is the sensitivity of the flow crossing the dividing walls to variations in the upstream water level.

Weirs are very sensitive, with flow rate and current speed increasing rapidly with the head, so that even a slight variation in the upstream water level may mean that the fish ladder cannot be negotiated by the fish.

Slots and submerged orifices are far less sensitive to such variations and fish ladders equipped in this way are much more widely used.

However, submerged orifices have the disadvantage of easily becoming blocked by solids transport and maintenance operations are fairly delicate.

At the moment, baffles with vertical slots are generally recommended where flow rates are high. For small structures, dividing walls with deep notches are generally recommended.

Mention should also be made of dividing baffles with sloping sills (V-shaped) which, to a certain extent, correct the sensitivity of the flow to changes in water level.

### 3.2.3. Pool cells

The pool cells between two walls are generally rectangular in shape and should be deep enough, in the case of fish which cross the obstacle by jumping, for the fish to be able to take off. For salmon, the pool must be at least 1 metre deep, while in the case of Cyprinidae 60 cm is sufficient.

The volume of the pool depends on the flow rate and the number of fish crossing it. The volume should be of the order of 0.120 m<sup>3</sup> per kg of fish. Generally, the pool is between 1 and 3 metres wide and must be long enough to provide zones of gentle current and low turbulence where the fish can recuperate after crossing the obstacle. The pool must be at least three times as long as the fish.

In general, the energy dissipated in the pool must not exceed a certain value (150 watts per cubic metre for Cyprinidae and 200 watts for Salmonidae). This power (kW/m<sup>3</sup>) is expressed by the formula

$$P = \frac{pgQH}{V}$$

where p is the density of the water (t/m<sup>3</sup>), g is gravitational acceleration (m/s/s), Q is the flow rate (m<sup>3</sup>/s), H is the load drop between pools (m) and V is the volume of the pool (m<sup>3</sup>). This criterion is generally used to determine the length of the pool, taking into account the fact that the depth and width are determined by other considerations.



Les parois latérales des bassins sont définies par les régimes exceptionnels (crues) de façon à éviter les déversements latéraux.

L'ensemble des bassins peut être en ligne droite dans le cas de faible chute. Par contre, pour les chutes nécessitant de nombreux bassins, la longueur totale de l'échelle serait trop importante et les orifices d'entrée ou de sortie seraient trop éloignés du barrage. Aussi, on donne à l'échelle une forme repliée, voire en colimaçon, pour que l'ensemble ait des dimensions plus ramassées (Fig. 20). Les bassins qui assurent les virages doivent, dans ce cas, présenter une forme courbe afin d'éviter les angles droits susceptibles de désorienter les poissons.

Au total, la pente d'une échelle à poissons se situe, en général, entre 5 et 12 %.

#### **3.2.4. Débit**

Le débit d'une échelle à poissons dépend de la chute entre bassins et de la dimension des orifices des parois déversantes. Il se situe généralement dans une gamme de 0,2 m<sup>3</sup>/s à 2 m<sup>3</sup>/s.

S'il est faible, il y a un risque important que le courant soit trop faible pour permettre aux poissons de trouver l'entrée. Il faut alors compléter ce débit par un courant d'attrait apporté par une canalisation distincte de l'échelle, débouchant à l'entrée du bassin aval, et formant une veine liquide qui attire le poisson.

#### **3.2.5. Coût**

Le coût d'une échelle à poissons dépend de son volume, c'est-à-dire, en définitive, du débit et de la longueur totale auxquels il est pratiquement proportionnel (Fig. 21).

Il est majoré dans certaines circonstances :

- construction effectuée postérieurement à l'édification du barrage, auquel cas, il faut prévoir des batardeaux spéciaux et des démolitions d'ouvrages existants,
- adjonction d'un débit d'attrait, nécessitant des ouvrages de prise et de rejet ainsi qu'un aqueduc,
- sensibles variations des niveaux amont et/ou aval, nécessitant la mise en place de plusieurs entrées ou sorties.

Un ordre de grandeur très grossier de la dépense peut être donné par la formule :  $C = KLQ$  où L est la longueur en mètres, Q le débit en m<sup>3</sup>/s et K un coefficient constant. En France, la formule est  $C = 0,05 LQ$  en millions de francs.

### **3.3. PASSES À RALENTISSEURS (PASSES DENIL)**

Les passes à ralentisseurs sont constituées par un canal rectiligne incliné, équipé de déflecteurs spéciaux qui freinent l'écoulement (Fig. 22).

The side walls of the pools are determined by exceptional flow conditions (floods) to ensure that there is no side overtopping.

In the case of low head schemes, all the pools may be in a straight line. On the other hand, where the head necessitates a large number of pools, the total length of the ladder would be excessive and the inlet or outlet orifices would be too far from the dam. The ladder is therefore constructed in a twisted or spiral layout to make it more compact in size (Fig. 20). In this case, the pools on the bends must be curved so that there are no right angles which might disorient the fish.

The overall slope of a fish ladder varies between 5 and 12 % depending on the species to be conveyed.

#### **3.2.4. Flow rate**

The flow rate over a fish ladder depends on the head difference between the pools and the baffle wall opening. It is usually between 0.2 m<sup>3</sup>/s and 2 m<sup>3</sup>/s.

If the flow rate is low, there is a strong possibility that the current will not be strong enough for the fish to find the entrance. A supplementary flow must then be supplied through a special conduit and directed downstream towards the fishway entrance.

#### **3.2.5. Cost**

The cost of a fish ladder depends on its volume, that is, the discharge capacity and overall length (Fig. 21).

Extra costs can be involved in the following circumstances:

- when the fish ladder is constructed after the dam has been built, in which case certain existing structures have to be demolished and cofferdams installed during construction;
- when other structures are required for creating a supplementary flow at the ladder entrance;
- when there are significant variations in upstream and/or downstream levels so that several inlets or outlets have to be constructed.

A very rough estimate of costs can be given by the formula  $C = KLQ$ , where L is the length in metres, Q is the flow rate in m<sup>3</sup>/s and K is a constant (in France, the formula is 0.05 LQ in millions of francs).

### **3.3. CHANNEL TYPE FISHWAYS (DENIL FISHWAYS)**

Denil fishways comprise a straight sloping channel with baffles which reduce the flow (Fig. 22).

La pente est plus forte que celle des échelles à poissons (elle se situe en général entre 15 et 20 %).

L'écoulement est beaucoup plus turbulent que dans une échelle à poissons. Au surplus, il est très sensible aux variations du niveau amont. S'il est trop faible, la lame d'eau est insuffisante pour nager. S'il est trop fort, l'effet des ralentisseurs est réduit et la vitesse du courant est trop forte.

Au total, une passe à ralentisseurs est moins coûteuse qu'une échelle à poissons, mais elle convient mal aux espèces fragiles ou peu performantes. Elle est plutôt réservée aux salmonidés (truites, saumons). Son utilisation est peu polyvalente car l'espace entre les chevrons doit être proportionné à la longueur des poissons.

Il faut ménager des bassins de repos d'autant plus nombreux que les poissons sont peu performants (tous les 6 à 8 m pour les truites, tous les 10 à 12 m pour les saumons). La vitesse du courant dans ces bassins doit être inférieure à 0,30 m/s.

En général, l'utilisation des passes à ralentisseurs est limitée aux faibles chutes et ne convient pas pour les grands barrages.

Enfin, leur entretien est difficile car les ralentisseurs piègent facilement les débris flottants ou semi-immergés.

### **3.4. ÉCLUSES DE NAVIGATION**

Souvent les barrages de chute basse ou moyenne sont doublés par des écluses destinées à assurer le passage de la navigation.

Il est souhaitable de les rendre utilisables pour le franchissement de la chute par les poissons (Fig. 23).

Pour cela, il faut créer un courant d'attrait qui incite les poissons à se rendre dans l'avant-port aval, puis dans le sas de l'écluse, la porte aval étant ouverte.

Ce courant, qui, pour être efficace, doit être au moins de 0,5 m/s et convenablement orienté par rapport au courant issu du barrage ou de la centrale hydroélectrique, est créé par une ouverture partielle des vannes alimentant le sas, celui-ci étant maintenu au niveau aval.

Une telle manœuvre est normalement interdite pour les écluses de navigation. Elle doit, donc, être inscrite dans une séquence spéciale. En outre, il faut prévoir un dispositif permettant de refermer les vannes en toute sécurité, en cas d'incident, par exemple en les doublant ou en les complétant par un batardeau qui puisse être mis en place dans le courant.

Au bout d'un certain temps, lorsque les poissons sont entrés dans le sas, on ferme la porte aval, on remplit le sas, on ouvre la porte amont et on crée un courant d'attrait incitant les poissons à sortir du sas, en ouvrant partiellement les vannes de vidange. Cette dernière manœuvre, qui est anormale pour une écluse de navigation,

The slope is considerably greater than that of fish ladders (between 15 and 20 %).

The flow is much more turbulent and the structure is more sensitive to variations in upstream level. If the flow is too slow, the water stream will not be sufficient for swimming. If it is too fast, the baffles are less effective and the current will be too strong.

Denil type fishways are less costly to build than fish ladders but they are not very suitable for fragile or less robust species of fish. They are generally used for Salmonidae (trout, salmon). They are fairly restricted in their use since the space between the baffles must be proportional to the length of the fish using the structure.

Resting pools must be provided for the fish to recuperate on their way. The number of such pools depends on the performance of the fish (every 6 to 8 metres' length for trout and every 10 to 12 metres for salmon). The current speed in these pools must be less than 0.30 m/s.

Denil fishways are generally used for low head weirs and are not suitable for large dams.

Finally, they are difficult to maintain since the baffles retain floating and semi-submerged debris.

### **3.4. NAVIGATION LOCKS**

Low or medium-head dams are also often equipped with navigation locks.

In such cases, it is a good idea to make it possible for fish to use the locks in order to negotiate the change in level (Fig. 23).

To this end, a current must be created to lure the fish into the downstream outer chamber, then into the central portion of the lock while the downstream gate is open.

This current, which must have a velocity of at least 0.5 m/s and be properly directed in relation to the current from the dam or the hydropower plant, is created by partially opening the gates controlling the flow of water into the chamber, which is maintained at the tailwater level.

This type of operation is not usually allowed in the case of navigation locks. A special sequence of steps must therefore be drawn up for the operation. Among other things, provision must be made for reclosing the gates safely in the event of a problem, for example by duplicating them or complementing them with a stoplog structure which can be used to control the current.

After a certain time, when the fish have swum into the lock chamber, the downstream gate is closed, the chamber is filled with water, the head-gate is opened and the bottom outlet gates are partially opened so as to create a current and entice the fish out of the lock chamber. This last manoeuvre, which is not part of normal

implique les mêmes précautions que la première concernant les vannes de remplissage.

Ce fonctionnement nécessite une bonne détermination des intervalles de temps composant le cycle. Une expérimentation sur le terrain est nécessaire pour atteindre ce résultat. Le cycle est normalement plus long que le temps d'éclusage des bateaux qui est de l'ordre de 20 minutes à 1/2 heure.

Ce fonctionnement des écluses de navigation peut être très efficace pour le franchissement de la chute par les poissons. Néanmoins, il présente l'inconvénient d'interrompre la navigation et donc de provoquer des attentes pour les bateaux. Cet inconvénient est particulièrement grave lorsque le trafic fluvial est important. On peut y remédier partiellement en effectuant les éclusages pour les poissons en dehors des heures et des dates de forte fréquentation de l'écluse par la navigation. Encore faut-il que cela coïncide avec les heures et dates de migration des poissons. C'est un point important qui peut constituer le facteur limitant une telle utilisation.

Une expérimentation effectuée en 1992 sur l'écluse de Vallabrègues sur le Rhône (Fig. 23) a montré que ce procédé pouvait être efficace, notamment pour l'alose qui est un migrateur particulièrement exigeant (faibles performances physiques, fragilité). Cette écluse de 195 m × 12 m, avec une chute moyenne de 13 m, a permis, en 49 éclusées, de passer 47 369 poissons dont 10 543 aloses. Le débit d'attrait optimal était de 60 m<sup>3</sup>/s pendant 15 mn. Le passage des poissons s'effectuait par dessus la porte amont légèrement abaissée pour laisser une lame d'eau de 25 cm pendant 25 minutes.

À noter que, pendant cette expérimentation, le débit de la centrale hydroélectrique accolée à l'écluse s'est situé entre 1 000 et 2 000 m<sup>3</sup>/s.

### 3.5. ÉCLUSES À POISSONS

Lorsque la chute devient importante, le temps de franchissement d'une échelle à poissons devient excessif (il faut aux poissons généralement plusieurs minutes pour passer un bassin) et ce dispositif n'est plus adapté. En outre, le coût devient prohibitif. Aussi, pour la plupart des grands barrages l'échelle est inadéquate. Quand la pente est faible (poissons à vitesse de nage réduite), le coût devient vite excessif en fonction de la chute. Dans ce cas, les échelles à poissons ne sont adéquates que pour les faibles chutes.

Une solution est constituée par les écluses à poissons (Fig. 24). Ces écluses comportent un bassin supérieur débouchant dans la retenue et un bassin inférieur en pied de barrage. Ces bassins, qui sont vannés, sont reliés par une rampe très inclinée (type Borland) ou par un puits vertical qui constitue alors le sas de l'écluse.

Les poissons sont attirés dans le bassin inférieur par un courant créé par une ouverture partielle de la vanne amont. Au bout d'un certain temps, la vanne inférieure est partiellement fermée de sorte que la perte de charge ainsi créée permet le remplissage progressif de la rampe ou du puits. Enfin, la vanne amont est complètement ouverte et les poissons peuvent déboucher dans la retenue.

Pour le dimensionnement des bassins, qui ont généralement une surface de 30 à 40 m<sup>2</sup>, on peut considérer que 80 % des poissons nagent à une profondeur comprise

lock operations, must be carried out with the same precautions as the operation concerning the lock filling gates.

As in the case of fish locks, the timing of the different phases in the cycles must be very carefully determined. Experiments must be carried out on site to achieve the necessary accuracy. The cycle normally lasts longer than the time spent by boats in the lock, which is usually about 20 minutes to half an hour.

The operation of navigation locks in this manner can be a very efficient way of helping fish negotiate the change in level. However, it has the disadvantage of interrupting shipping since boats have to wait to pass through the lock. This is particularly serious where river traffic is heavy. This problem can be partly solved by conducting the operations to allow the fish to negotiate the locks at times when river traffic is light. However, such times would have to coincide with the hours and periods of migration. This is an important point which could limit this type of use.

An experiment conducted in 1992 on the Vallabrègues lock on the Rhône (Fig. 23) showed that this procedure could be effective, in particular for the alosa, which is a particularly demanding migratory fish (poor physical performance, fragile). This lock of 195 m × 12 m, with an average drop of 13 m, was successful in ensuring the passage, in 49 lock filling operations, of 47 369 fish, including 10 543 alosa. The optimum lead current flow rate was 60 m<sup>3</sup>/s for 15 minutes. The fish passed over the upstream gate which was slightly lowered to produce a water stream of 25 cm for 25 minutes.

It should be noted that during this experiment the flow rate of the hydroelectric plant adjoining the lock is between 1 000 and 2 000 m<sup>3</sup>/s.

### **3.5. FISH LOCKS**

In the case of very large heads, it would take the fish much too long to cross a fish ladder (fish generally need several minutes to negotiate a pool). The cost can also be prohibitive. Consequently, for most large dams, such fish pass structures are not suitable. When the slope is low (species with restricted swimming speeds), the cost increases rapidly with the increase in head. In this case, a fish ladder is only suitable for low head weirs.

One solution is to use fish locks (Fig. 24). These comprise an upper pool, which opens into the reservoir, and a lower pool at the foot of the dam. These pools, which are gated, are connected by a very steep conduit (Borland type) or even a vertical shaft which constitutes the lock chamber.

The fish are lured into the lower pool by a current created by partially opening the head-gate. After a certain time, the lower gate is partially closed so that the head loss thus created allows the sloping conduit or vertical shaft to gradually fill up. Finally, the head-gate is fully opened and the fish can swim out into the reservoir.

In terms of operation of the pools, which generally have a surface area of 30 to 40 m<sup>2</sup>, it can be assumed that 80 % of the fish swim at a depth of between 0.60 and

entre 0,60 m et 1,80 m et qu'il faut un volume minimum de 0,5 m<sup>3</sup> par poisson adulte pesant 5 kg.

Le cycle de fonctionnement d'une écluse à poissons (temps d'attrait dans le bassin inférieur, ascension, évacuation du bassin supérieur) est à déterminer expérimentalement en fonction des espèces qui fréquentent l'ouvrage. Il faut retenir un temps d'attrait dans le bassin inférieur d'au moins une demi-heure, mais qui peut atteindre plusieurs heures selon les sites. Il est possible d'accélérer la suite du processus à l'aide de vannes ou de grilles qui poussent les poissons dans le puits, puis les obligent à remonter et enfin à sortir du bassin supérieur. L'ensemble de ces dispositifs modifie le concept de l'écluse et le rapproche de celui des ascenseurs à poissons qui sera évoqué ci-après. Au total, le cycle complet est généralement de une à plusieurs heures.

L'efficacité des écluses à poissons est l'objet de discussions, surtout si elles ne sont pas équipées de vannes ou de grilles obligeant les poissons à parcourir tout le circuit. En effet, si des courants d'attrait assez élevés orientent bien le poisson dans le bassin inférieur, puis l'incitent à sortir du bassin supérieur, il y a un risque important que les poissons s'orientent mal pendant la phase de remplissage et n'atteignent que lentement le niveau supérieur. Ce risque peut être évité en utilisant une cage placée dans le puits (écluse Dumbleton en Australie - Fig. 25), le mouvement de la cage est assuré par des flotteurs fixés sur son toit. Quand la cage arrive à la partie supérieure du puits, son plancher est bloqué par des butées; elle s'incline alors en incitant ainsi les poissons à sortir.

D'autre part, en raison de leur cycle discontinu, les écluses à poissons n'assurent le franchissement du barrage que pendant une fraction du temps.

Les écluses à poissons, au contraire des échelles à poissons qui sont passives, comportent des mécanismes et impliquent exploitation et maintenance. Elles peuvent être automatisées une fois que les temps du cycle sont bien déterminés.

Les écluses à poissons sont principalement utilisées aux USA, en Grande-Bretagne et en Australie.

### **3.6. ASCENSEURS À POISSONS**

Les ascenseurs à poissons (Fig. 26) comportent, comme les écluses, un bassin d'attrait à l'aval où se concentrent les poissons. Ce bassin débouche dans un puits au fond duquel se trouve une cuve destinée au transport des poissons. Le bassin inférieur est le siège d'un courant d'attrait qui amène les poissons à y entrer et à se diriger vers la cuve. Il peut, en outre, être équipé d'une grille mobile qui pousse les poissons dans la cuve. Celle-ci est alors remontée au niveau amont à l'aide d'un treuil. Puis la cuve est déversée dans une goulotte où tombent les poissons. La goulotte débouche, enfin, dans le bassin amont qui comporte, comme pour l'écluse, un vannage permettant de créer un courant qui oriente les poissons vers la retenue.

La durée du cycle, compte tenu du guidage des poissons effectué par la grille et la cuve, est sensiblement plus courte que pour une écluse à poissons (elle peut être,

1.8 m and that a minimum volume of 0.5 m<sup>3</sup> is needed for each adult fish weighing 5 kg.

The operating cycle of a fish lock (time to lure the fish into the lower pool, ascent, discharge from the upper pool) has to be determined experimentally depending on the species using the lock. It takes at least half an hour to lure the fish into the lower pool, but at some sites the fish may take several hours. The next stage in the cycle can be accelerated by using gates and screens to push the fish into the lock, obliging them to move up the structure and swim out of the upper pool. These devices modify the design of the lock, which operates more like a fish elevator (see below). The total cycle time of a fish lock is usually between one and several hours.

The effectiveness of fish locks is a subject of discussion, especially where they are not equipped with gates or screens to ensure that the fish complete the entire circuit. In fact, while the attraction currents may be sufficiently strong to direct the fish into the lower pool and oblige them to swim out of the upper pool, there is a strong risk of the fish becoming disoriented during the filling phase and taking a long time to reach the upper level. This can, however, be overcome by introducing a follower screen in the lock chamber (Dumbleton lock in Australia - Fig. 25). Screen movement is controlled by floats on top of the screen. As the follower rises to the top of the lock chamber, the roof of the follower is caught by the stops and it then rotates to form a wedge, thereby encouraging fish to go through.

In addition, because there are draining, filling and exiting phases in the cycle, the passage of fish across the dam is not continuous. Therefore, fish locks are used for crossing the dam only for a fraction of the time.

Unlike fish ladders, which are passive structures, fish locks include mechanisms which involve operation and maintenance. The functions can be adjusted with monitoring and automated once the length of the cycle has been clearly determined.

Fish locks are mainly used in the eastern USA, Great Britain and Australia.

### **3.6. FISH ELEVATORS**

The fish elevator (Fig. 26), like a fish lock, comprises a lower pool into which the fish are lured. This pool discharges into a shaft; at the bottom of this shaft there is a tank used to transport the fish. A lead current in the lower pool lures the fish into the pool and then towards the tank. This pool may also be equipped with a screen to push the fish inside the tank, the tank then being raised to the upstream level by means of a winch. The fish are then discharged via a chute into the upper pool, which comprises a series of gates creating a current to guide the fish towards the reservoir.

The length of the cycle, including pushing the fish into the tank, is much shorter than that of a fish lock (at peak migration time, it can be about 15 minutes



en pointe de migration, de l'ordre du quart d'heure au lieu d'une à deux heures) de sorte que le débit de poissons est nettement supérieur.

Les ascenseurs à poissons sont efficaces et adaptés aux chutes élevées. Ils sont susceptibles d'assurer le franchissement du barrage par plusieurs dizaines de milliers de poissons.

Pour l'alose et les grands cours d'eau, le débit d'attrait est de l'ordre de plusieurs m<sup>3</sup>/s et doit exercer à l'entrée un courant de 0,30 m/s à 0,50 m/s. Le bassin d'attrait présente une largeur et une profondeur de 2 à 3 m et une longueur de 5 à 10 m. On considère que son volume doit être de 15 à 30 litres par kg de poisson.

La cuve est de même largeur que le bassin, mais moins longue et moins profonde. Son volume est de l'ordre de 5 à 10 litres par kg de poisson.

Elle est déversée dans la goulotte par basculement si elle est relativement petite (inférieur au m<sup>3</sup>), ou par vannage si elle présente un grand volume.

Les ascenseurs à poissons, du fait de leur équipement en mécanismes, impliquent des frais d'exploitation relativement élevés. Leur coût est pratiquement indépendant de la hauteur de chute (son ordre de grandeur en investissement est de 5 à 10 M\$). Ils constituent, tant du point de vue de l'efficacité que du point de vue économique, le seul dispositif de franchissement adapté aux barrages de grande chute. Il y a vraisemblablement une zone de recouvrement avec les échelles à poissons pour les chutes de 20 à 30 mètres.

Pour l'entretien, il faut faire attention au fait que les mécanismes de l'ascenseur peuvent être endommagés par les corps flottants charriés par la rivière. Ils doivent donc être soigneusement protégés.

### **3.7. PASSES À ANGUILLES**

Dans l'hémisphère nord, les anguilles subadultes descendent les rivières en se laissant porter par le courant, généralement en automne et la nuit. Elles se reproduisent en mer des Sargasses. Les petites anguilles ou civelles reviennent dans les estuaires au début du printemps et remontent les rivières principalement entre mai et juillet. Leur taille croît au fur et à mesure qu'elles remontent la rivière et passe de quelques centimètres à plusieurs décimètres.

Leur capacité de nage est relativement faible. Elles ne semblent pas pouvoir remonter en nageant des courants au-delà de 0,5 m/s. Cependant, elles peuvent progresser par reptation. Il semble que la population globale d'anguilles de l'hémisphère nord a tendance à diminuer. Une des causes de ce phénomène pourrait être l'obstruction créée par les barrages ou seuils. C'est pourquoi, il paraît utile de se préoccuper du franchissement des barrages par les anguilles.

Les ouvrages de franchissement les plus adéquats sont inspirés des passes à ralentisseurs dont les chevrons sont remplacés par une brosse ou par un tapis de branchages qui facilite la reptation des anguilles. Cette rampe, qui peut localement prendre une forme de tube, peut atteindre une pente de 40 %. Pour s'affranchir des fluctuations de niveau amont, il est préférable d'assurer une alimentation en eau par

compared with one to two hours) so that the rate at which the fish are transferred is much higher.

Fish elevators are particularly effective in the case of very high head and can enable several tens of thousands of fish to cross the dam.

In the case of alosa and large rivers, the attraction flow rate is of the order of several m<sup>3</sup>/s and must provide a current at the entrance of 0.30 to 0.50 m/s. The pool into which the fish are lured is 2 to 3 metres in width and depth and between 5 and 10 metres long. The volume required is between 15 and 30 litres per kg of fish.

The tank is the same width as the pool, but not as long or as deep. A volume of between 5 and 10 litres is required per kg of fish.

If it is fairly small (less than one cubic metre), it is emptied into the chute by tipping. In the case of a large volume tank, gates are used to discharge the fish into the chute.

Because of the mechanical devices required, the operating costs of fish elevators are relatively high. Their cost is virtually unrelated to the size of the drop (investment of between 5 and 10 M\$). In terms of effectiveness as well as from an economic point of view, they are the only fish pass structures suitable for large-head dams. There is probably a recovery zone with fish ladders for heads of 20 to 30 metres.

For maintenance, it must be borne in mind that the lifting mechanisms can be damaged by the debris loads of the river, so they must be carefully protected.

### **3.7. EELWAYS**

In the northern hemisphere, sub-adult eels descend rivers by letting themselves be carried by the current, usually in autumn at night. They reproduce in the Sargasso Sea. Small eels or elvers return to the estuaries in early spring and swim upriver generally between May and July. As they swim upstream, they increase in size growing from a few centimetres to several decimetres.

Their swimming capacity is relatively low and they do not seem to be able to swim upstream in currents of over 0.5 m/s. However, they can progress by creeping along. It would appear that the overall eel population in the northern hemisphere is on the decrease. One reason may be that their movements are hindered by dams and sills. It is thus important to address the question of passing structures for eels.

The most efficient structures are based on the Denil fishway, but in this case the baffles are replaced by bristles or a layer of branches which help the eels to creep along. This ramp, which in places can be in the form of a tube, may have a slope of up to 40%. To solve the problem of changing water levels upstream, the water should preferably be supplied by pumping, with the ramp outlet above the upstream

pompage et de faire déboucher la rampe au-dessus du niveau amont, les anguilles étant déversées dans la retenue par une goulotte. Le débit d'eau des tubes à anguilles est faible et elles peuvent mettre plusieurs jours pour les franchir. Aussi, les tubes doivent-ils être ombragés de manière à maintenir une température convenable. Les projets les plus récents utilisent des tubes sans brosse ou de petits canaux pour réduire l'élévation de température et permettre le passage de plusieurs espèces de poissons.

Le barrage de Patea en Nouvelle-Zélande est ainsi équipé d'un tube à anguilles qui permet de franchir une chute de 75 m. La passe à anguilles du barrage de Cornwall au Canada a permis, en 1994, le passage de 163 500 anguilles en 85 jours soit 1924 par jour en moyenne, mais avec de fortes variations selon les journées (on a observé une pointe de 12 300 anguilles par jour pendant trois jours).

Des passes à anguilles ont été construites récemment en Zeeland (Pays-Bas) pour permettre leur entrée dans les eaux des polders situés derrière les digues.

### **3.8. CAPTURE, TRANSPORT ET RELARGAGE DES POISSONS**

Lorsque la chute du barrage est importante, seuls l'écluse, avec entrées et sorties multiples, l'ascenseur à poissons, ou le tube à anguilles sont efficaces. Toutefois, si leur aménagement dans le site est difficile ou s'il y a plusieurs barrages en cascade, on peut renoncer à cet équipement.

Dans ce cas, la seule méthode pour assurer le franchissement de la chute consiste à capturer les poissons qui se rassemblent au pied du barrage, à les transporter à l'amont et à les déverser dans la retenue, au voisinage des zones d'habitat favorable. Pour faciliter l'opération, on pourra être amené à ménager sur la rive un bassin de capture (avec courant d'attrait).

Cette méthode peut être très efficace, à condition bien entendu que la capture et le transport des poissons soient effectués avec toutes les précautions nécessaires pour éviter qu'ils ne soient blessés ou asphyxiés (oxygénation de l'eau, réglage de la température, espace suffisant pour l'évolution des poissons).

Elle nécessite un matériel et un personnel spécialisés. Elle n'est pratiquement utilisable que pour les espèces de poissons qui effectuent leur migration en masse sur une période de temps relativement courte.

Un exemple intéressant de cette méthode est donné par l'aménagement de Matahina en Nouvelle-Zélande. Un tube à anguilles a été installé à Matahina avec diverses modifications depuis 3 ans. Pour satisfaire une demande locale des Maori, un bassin d'attrait des anguilles a été réalisé sur l'autre rive de la centrale hydroélectrique. Ce réservoir est pourvu d'un bac qui est déversé à l'amont du barrage lorsqu'il est plein d'anguilles.

En 1998, le très coûteux et complexe tube à anguilles a permis le passage en pointe d'environ 3 000 anguilles par jour, tandis que la méthode de capture dans un réservoir et de transport dans la retenue a permis le passage d'environ 100 000 anguilles par jour.

level and the eels discharged into the reservoir through a chute. In tube eelways, water flows are typically low and eels may take several days to pass through the structure. Tubes should be shaded to maintain a reasonable temperature in the eelway. More recent designs use tubes, without bristles, or small open channels to reduce temperature increases and provide passage for more than one species of fish.

The Patea dam in New Zealand is equipped with an eelway enabling fish to cross a drop of 75 m. In 1994, the eelway on the Cornwall dam in Canada was used by a total of 163 500 eels in 85 days, that is an average of 1 924 per day, though there were large variations depending on the day (12 300 eels per day were observed during a three day period).

Eelways were recently constructed in the Dutch province of Zeeland to allow eels to enter from the sea into the polder waters behind the dykes.

### **3.8. TRAPPING, TRANSPORT AND RELEASE OF FISH**

Where the change in water level at the dam site is significant, the only really effective solution is the lock with multiple entrances/exits, fish elevator or eelway. However, if this type of structure is difficult to install at the site, or if there are several dams arranged in a cascade, another solution should be found.

In this case, the only way to ensure that fish negotiate the fall is to capture them when they gather together at the foot of the dam, transport them upstream and release them into the reservoir near the suitable habitats. To this end, a special holding pool with a water current strong enough to attract the fish can be constructed along the river bank.

This method can be very effective provided great care is taken to avoid injury or asphyxiation when capturing and transporting the fish (oxygenation of water, temperature regulation, sufficient space).

Special equipment and fully trained personnel are required for such a method, which is really only suitable for fish species which migrate in large numbers over a fairly short period of time.

An interesting example of this situation is given by Matahina scheme in New Zealand. A tube type eel pass was installed at Matahina and has undergone several modifications since. As an interim measure to satisfy local Maori concerns, a bucket type eel catcher was installed on the other side of the powerhouse with the bucket taken around the dam to the reservoir when full.

Performance figures for these two devices in 1998 indicated that the very expensive and complex tube type eel pass was passing about 3 000 eels per day at peak while the bucket and carry method was passing about 100 000 eels per day.

En outre, le tube à anguilles présente l'inconvénient d'exposer celles-ci à une forte prédation à la sortie par une population de truites. Au contraire, le déversement des anguilles issues du réservoir est effectué au hasard et de manière sporadique dans différents emplacements de la retenue, ce qui donne aux civelles de meilleures chances d'échapper à la prédation.

Cette observation montre que la méthode sophistiquée et coûteuse n'est pas forcément la plus efficace. Une solution simple et pratique peut donner un meilleur résultat.

En outre, cette méthode simple est plus traditionnelle et plus facilement acceptée par la population locale qui peut être consultée pour la sélection des sites et l'exécution des opérations.

### **3.9. DÉVALAISON DES POISSONS**

#### **3.9.1. Généralités**

Pour accomplir leur cycle de vie, les poissons migrateurs doivent non seulement pouvoir remonter les rivières mais aussi les descendre. Alors que l'on se préoccupe depuis plus d'un siècle de réaliser des ouvrages permettant la remonte, les études relatives à la dévalaison sont relativement récentes (une vingtaine d'années) et les connaissances sont encore incomplètes.

Cette lacune provient du fait qu'une certaine descente des migrateurs se fait naturellement à travers les évacuateurs de crue et les turbines. Les échelles et les passes à ralentisseurs permettent aussi une certaine descente. Encore faut-il savoir si la mortalité des poissons lors de cette dévalaison n'est pas susceptible de compromettre le maintien de la population d'une rivière, et quelles précautions faut-il prendre et quels types d'ouvrages permettent de réduire cette mortalité.

Il faut d'ailleurs noter que les barrages ne sont pas les seuls facteurs limitatifs. La mortalité des poissons à la dévalaison résulte de nombreux autres éléments et, notamment, de la température de l'eau, de la teneur en oxygène dissous, de la pollution. Lorsqu'il s'agit de jeunes alevins, il y a, en outre, une très forte prédation. Les maladies peuvent également limiter le stock. Enfin, les retenues des grands barrages, où la vitesse du courant est faible ou nulle, peuvent désorienter les poissons dans leur dévalaison.

Pour traiter ce problème, il faut d'abord bien connaître le processus de migration avalante et les espèces cibles dont on souhaite assurer le développement. Dans la plupart des cas, il s'agit d'espèces potamotoques qui se reproduisent en rivière. La dévalaison est alors le fait des alevins. Dans certains cas, ils descendent dès leur éclosion (saumons roses, par exemple); les alevins sont alors de très petite taille (quelques centimètres). Dans d'autres cas, au contraire, les alevins grossissent d'abord en rivière, pendant une ou plusieurs saisons (6 ans dans certaines rivières nordiques), avant d'entreprendre la descente (saumon atlantique). Ils peuvent alors avoir une longueur de 10 à 20 cm. À l'inverse, la dévalaison des poissons thalassotoques est le fait des adultes. Dans le cas des anguilles, par exemple, les poissons dévalant peuvent atteindre ou dépasser 1 mètre de longueur.

In addition, the tube type eel pass has some operational defects in that the continuous flow of elvers attracts a hungry trout population below its outlet in the reservoir with a consequent high mortality rate. In contrast, the bucket dumping method is random and sporadic with the release of large numbers of elvers at surprise locations giving them more chance of escape and survival.

This observation is of interest because it shows that the sophisticated and expensive method is not necessarily the most effective. A simple practical solution may give a better result.

A further benefit is that the simple method is often more traditional, and is therefore more acceptable to local people – who can be involved in selection of sites and implementation.

### **3.9. DESCENT OF RIVERS BY FISH**

#### **3.9.1. General**

To complete their life cycle, fish must not only be allowed to migrate upstream, they must also be able to descend the rivers. For over a century, efforts have been made to build structures to help fish swim upstream, but studies concerning the descent of rivers by fish are fairly recent (last twenty years) and knowledge is still limited in this field.

This lack of information is partly because some migratory fish descend rivers naturally through flood spillways and turbines. Fish ladders and Denil fishways can also be used by some descending fish. The question to be asked is whether the mortality rate of the fish might compromise the maintenance of the population of a river and, if this is so, what steps could be taken and what type of structures could be used to reduce this mortality rate.

It should also be noted that dams are not the only limiting factor. Mortality of descending fish can be attributed to numerous other factors, in particular the temperature of the water, dissolved oxygen content and pollution. In the case of young fish, there is the problem of predators, while disease can also limit the fish stock. Finally, large dam reservoirs where the current is slow or non-existent can disorient the fish as they swim downstream.

To deal with this problem, it is essential to know first the downstream migration process and the particular species which are to be maintained. In most cases, the problem concerns anadromous fish which reproduce in rivers. In this case, it is the young fish which migrate downstream. In some cases, they descend the rivers as soon as they hatch (pink salmon) and the young fish are therefore very small (a few centimetres long). In other cases, the young fish spend a growing time (which could be up to 6 years in northern rivers) in the river before undertaking the descent (Atlantic salmon). They may be up to 10 to 20 cm long before they descend. In the case of catadromous fish, it is the adults which are concerned by downstream migration. Eels, for example, may be one metre long or more when they make their way downstream to the sea.

Il faut, enfin, bien connaître la période de temps pendant laquelle se produit la dévalaison et savoir s'il s'agit d'une migration diffuse ou concentrée sur un court intervalle de temps.

### **3.9.2. Franchissement des évacuateurs de crue**

Les poissons dévalants sont naturellement entraînés vers les évacuateurs de crue. La mortalité au passage de ces ouvrages dépend d'abord de la hauteur de chute. On considère qu'elle est faible pour des chutes inférieures à une dizaine de mètres.

Pour des chutes plus fortes, il y a des risques sérieux résultant des chocs ou des frottements sur les parois, des variations brusques de vitesse du courant (en valeur absolue et/ou en direction) ou des variations de pression.

Une étude américaine récente (Heisley, Mathur, Euston) pour des chutes comprises entre 4 et 18 mètres a montré un taux moyen de mortalité de 2,4 % pour des saumons et des aloses.

On considère qu'il y a danger dès que la vitesse dépasse 16 m/s. Les évacuateurs en saut de ski sont les moins dangereux en raison de leurs formes bien profilées et de la chute des poissons dans une fosse profonde. À l'inverse, les évacuateurs pourvus d'obstacles dissipateurs d'énergie sont très défavorables.

Les évacuateurs ont aussi un effet indirect : les poissons qui les ont franchis sans dommage peuvent être cependant perturbés au point d'être, pendant un certain temps, plus vulnérables vis-à-vis des prédateurs.

Lorsque l'évacuateur est susceptible de produire une forte proportion de mortalité, il faut prévoir une barrière dissuadant les poissons d'y pénétrer (voir 3.9.4. ci-après).

### **3.9.3. Possibilités de passage par les turbines**

En raison des accélérations et décélérations brutales du courant, de la courbure des filets liquides, d'une forte baisse de pression (cavitation) et des obstacles qui se présentent (grilles d'entrée, aubes directrices, pales de la roue), le passage des poissons par les turbines se traduit par des mortalités variables selon les espèces et la taille des poissons, ainsi que selon les types de turbine.

La variation forte de vitesse a des effets dangereux pour le poisson, aussi bien l'accélération longitudinale qui l'étire que la variation transversale qui le plie. La variation de pression est considérée comme dangereuse lorsque la dépression dépasse 5 à 6 m d'eau. Elle peut provoquer un éclatement de la vessie natatoire et une embolie gazeuse. À cet égard, les poissons de surface qui sont à une pression relativement faible sont moins vulnérables que les poissons de fond qui subissent un plus grand écart de pression.

La mortalité dans le passage des turbines Pelton est totale.

Par contre, les turbines Francis et Kaplan peuvent être franchies sans dommage par une proportion assez importante de poissons. Le taux de mortalité est assez variable d'un site à l'autre, et selon les espèces. Il croît avec la hauteur de chute, la

Finally, it is important to know the period of time during which the fish descend and whether their movement is concentrated or spread over a longer period.

### **3.9.2. Negotiating spillways**

Fish swimming downstream are naturally carried towards spillways. The mortality rate of fish passing through such structures depends, in the first instance, on the height of the drop. In the case of drops of less than ten metres, the mortality rate is low.

Where the drop is greater, the fish can be in danger because of the blows they may receive from the structure as well as from sudden variations in current speed (in absolute value and/or in direction) or changes in pressure.

A recent American study (Heisley, Mathur, Euston) showed an average mortality rate of 2.4 % for salmon and American shads, for heads between 4 and 18 m.

Once the speed exceeds 16 m/s, the fish are considered to be in danger. Ski-jump type spillways are the least dangerous thanks to their shape and the fact that the fish drop into a deep water area. On the other hand, spillways equipped with energy dissipating devices are extremely hazardous.

Spillways also have an indirect effect : fish that negotiate them without injury may still be disturbed to the point where, for a certain time, they may be more vulnerable to predators.

If a spillway is likely to produce a high death rate among descending fish, a barrier should be constructed to discourage the fish from entering it (see 3.9.4 below).

### **3.9.3. Possibilities for negotiating turbines**

Because of the sudden acceleration and deceleration in the current, the curved flow filaments, strong pressure drops (cavitation) and the obstacles involved (intake screens, guide vanes, wheel blades), the mortality rate for fish negotiating turbines varies with the species and size of the fish and the type of turbine.

The high variation in velocity has serious effects on fish. Longitudinal acceleration stretches them and transverse variations bend their bodies. The variation in pressure is considered to be dangerous when a fall in pressure exceeds 5 - 6 m of water. This can cause their air bladder to burst and produce an air embolism. In this respect, surface fish, which are at a relatively low pressure, are less vulnerable than bottom-dwelling species, which experience a much greater difference in pressure.

Pelton turbines cannot be negotiated by fish, so that the mortality rate is 100 %.

On the other hand, a fairly large proportion of fish can successfully negotiate Francis and Kaplan turbines. The mortality rate varies from one site to another and also depends on the species involved. It increases with the height of the drop, the



vitesse de rotation de la roue, la longueur des poissons et la diminution du paramètre de cavitation sigma. Dans de bonnes conditions, il est de 5 à 15 % pour les juvéniles potamotques (salmonidés).

On peut citer une expérimentation en France sur des truites de 10 à 20 cm, qui a donné les résultats suivants (centrales de Mauzac, Tuilière et Poutès) :

Type de turbine	Débit	Vitesse de rotation	Chute	Mortalité
Francis	60 m <sup>3</sup> /s	55 t/m	5 m	5,4 %
Kaplan	52,7 m <sup>3</sup> /s	166 t/m	11,5 m	13 %
Francis	14 m <sup>3</sup> /s	428 t/m	61,5 m	41 à 67 %

Une expérimentation américaine (MATOUSEK *et al.*, Hydro Review, May 1994) portant sur diverses espèces (perches, truites, brochets, etc.) juvéniles et adultes, de 5 à 30 cm de longueur, a donné les résultats suivants :

Type de turbine	Vitesse de rotation	Chute	Diamètre de la roue	Mortalité moyenne	Mortalités extrêmes selon les espèces et l'âge des poissons	
Francis	90 t/m	13,1 m	2,54 m	16,3 %	0 %	83,6 %
Francis	150 t/m	11,9 m	1,52 m	17,3 %	6,4 %	63,6 %
Francis	150 t/m	10,9 m	1,40 m	14 %	4,5 %	35,5 %
Francis	163,6 t/m	30,5 m	2,12 m	20,9 %	4 %	46,3 %

Il semble que les cupléidés sont plus vulnérables que les salmonidés. Des expériences américaines sur des aloses, qui sont des poissons particulièrement fragiles, ont fait apparaître des mortalités de 22 % à 83 %.

Cependant, ces chiffres sont à considérer avec prudence en raison des difficultés de l'expérimentation. Il est, en effet, aisé de repérer les poissons morts mais plus difficile de dénombrer les poissons qui passent sans encombre. Par exemple, l'étude américaine visée ci-dessus à propos des évacuateurs de crue fait apparaître une mortalité de 3 à 5 % pour des turbines Kaplan présentant des vitesses de rotation comprises entre 75 et 229 t/m et des chutes de 5 à 30 m.

D'une manière générale, les grosses turbines sont moins dangereuses que les petites. À chute égale, les Francis donnent sensiblement les mêmes résultats que les Kaplan. Les groupes bulbes immergés sont les turbines les moins dangereuses. Un facteur important est le niveau d'ouverture des directrices. La mortalité est minimale lorsque la turbine fonctionne à son point d'efficacité maximale, car, à ce stade, la courbure des filets liquides est la plus faible. Enfin, la taille des poissons et la vitesse absolue de l'eau à l'entrée de la turbine sont des facteurs aggravants.

Pour les anguilles, la dévalaison, a priori, est plus difficile car il s'agit d'adultes de grande longueur, et les mortalités sont plus élevées que pour les juvéniles de salmonidés. Néanmoins, il y a lieu de noter une expérimentation effectuée en 1994

speed of rotation of the wheel, the length of the fish and the reduction in the cavitation parameter sigma. In good conditions, mortality is from 5 to 15% for young anadromous fish (salmon).

The results of experiments carried out in France for 10 to 20 cm trout gave the following results (powerplants of Mauzac, Tuilière and Poutès) :

Type of turbine	Flow rate	Rotation speed	Drop	Mortality
Francis	60 m <sup>3</sup> /s	55 rpm	5 m	5,4 %
Kaplan	52.7 m <sup>3</sup> /s	166 rpm	11.5 m	13 %
Francis	14 m <sup>3</sup> /s	428 rpm	61.5 m	41 à 67 %

The following results were given by an American study (MATOUSEK *et al.* Hydro Review, May 1994) which looked at adult and young fish of various species (perch, trout, pike, etc.) of lengths between 5 and 30 cm :

Type of turbine	Rotation speed	Drop	Wheel diameter	Average mortality	Extreme mortality depending on fish species and age	
Francis	90 rpm	13.1 m	2.54 m	16.3 %	0 %	83.6 %
Francis	150 rpm	11.9 m	1.52 m	17.3 %	6.4 %	63.6 %
Francis	150 rpm	10.9 m	1.40 m	14 %	4.5 %	35.5 %
Francis	163.6 rpm	30.5 m	2.12 m	20.9 %	4 %	46.3 %

It would appear that Cupleidae are more vulnerable than Salmonidae. American experiments concerning alosa, which are particularly fragile, revealed a mortality rate of between 22 and 83 %.

However, these ratios must be considered carefully because experimentation is difficult; it is easy to identify dead fish but harder to count the fish that passed without damage. For instance, the above-mentioned American study of spillways showed a mortality rate of 3 to 5 % for Kaplan turbines with rotation speeds between 75 and 229 rpm and heads of 5 to 30 m.

In general, large turbines are less dangerous than small ones. For an identical drop, Francis turbines give more or less the same result as Kaplan turbines. Immersed bulb type sets are the least dangerous turbines for fish. An important factor is the level of the opening of the wicket gate. Mortality is minimal when the turbine is operating at maximum efficiency, since at this point the curve of flow filaments is weakest. Finally, the size of fish and absolute velocity of water entering in the turbine are aggravating factors.

In the case of eels, in theory the downstream passage is more difficult since it is long adult eels which cross the turbines. Mortality is greater than in the case of young salmonidae. However, in experiments conducted in 1994 at Beauharnois,

sur la chute de Beauharnois, au Canada, où l'on a trouvé un taux de mortalité de 24,9 % sur une Kaplan et de 14,8 % sur une Francis pour des anguilles de 88 cm de longueur. Il s'agit, a priori, d'un cas favorable (turbines de grand diamètre, à faible vitesse de rotation).

Ces turbines ont les caractéristiques suivantes :

	<b>Débit</b>	<b>Vitesse de rotation</b>	<b>Chute</b>
Kaplan	265 m <sup>3</sup> /s	94,7 t/m	24 m
Francis	198 m <sup>3</sup> /s	75 t/m	

Si le taux de mortalité est considéré comme trop important et susceptible de nuire à la conservation de l'espèce, il faut empêcher les poissons de passer à travers la turbine et leur offrir un autre itinéraire de dévalaison. Les techniques correspondantes sont délicates et leur mise au point sont relativement récentes. Celle qui paraît la plus efficace consiste à disposer une grille inclinée dans le conduit d'accès à la turbine, qui guide les poissons vers une déviation constituée d'une canalisation débouchant à l'aval.

Naturellement, dans ce cas, il faut que la grille de protection contre les corps flottants, qui se trouve à l'entrée des turbines, présente un espacement de barreaux suffisant pour permettre, sans dommage, le passage des poissons (procédé Eicher et Mis, mis au point aux USA - Fig. 27). Ces grilles, qui sont inclinées par rapport au courant sont autonettoyantes.

Une variante, mais qui implique une bonne connaissance du mode d'évolution des poissons et de leur dévalaison, consiste à disposer en surface de la retenue de la centrale hydroélectrique un canal collecteur qui, par déversement, entraîne les poissons vers un by-pass (Fig. 28). Ce dispositif est efficace si la prise d'eau conduisant aux turbines est assez profonde et si les poissons dévalant nagent plutôt en surface (c'est généralement le cas des salmonidés). Ce dispositif présente l'inconvénient de gêner le nettoyage de la grille d'entrée dans les turbines. On peut éviter cet inconvénient en plaçant l'entrée du by-pass sur une rive de la centrale. Il faut alors que l'entrée soit suffisamment large (2 m) et qu'un courant d'attrait y conduise les poissons.

#### **3.9.4. Barrières**

Lorsque les évacuateurs de crue, ou les turbines, sont dangereux et que l'on veut éviter le passage des poissons, on peut souhaiter les dissuader d'y pénétrer par une barrière adéquate. Il en est de même devant les prises d'eau agricoles ou industrielles.

La solution à laquelle on pense au premier abord est une grille assez fine pour éviter la pénétration des poissons (ouvertures de 0,5 à 2,5 cm). Cette formule présente divers inconvénients : obstruction par les débris, plaquage des poissons contre la grille. On peut y remédier par des dispositifs de nettoyage (par exemple grilles rotatives autonettoyantes) et en veillant à ce que la vitesse de courant à l'entrée de la grille soit faible (de 15 à 30 cm/s). Naturellement, il faut que les

Canada, a mortality rate of 24.9 % was found for a Kaplan turbine and 14.8% for a Francis in the case of eels 88 cm in length. In this case, the conditions were favourable (large-diameter turbines with low rotation speed).

The above-mentioned turbines have the following characteristics:

	<b>Flow rate</b>	<b>Rotation speed</b>	<b>Drop</b>
Kaplan	265 m <sup>3</sup> /s	94.7 rpm	24 m
Francis	198 m <sup>3</sup> /s	75 rpm	

If the death rate is considered to be too high and a threat to the conservation of the species, the fish must be prevented from entering the turbines and given another way to continue their descent of the river. Such methods are delicate and have only recently been perfected. The most efficient way seems to be to place a tilted screen in the turbine intake in order to guide the fish to a by-pass which will discharge the fish into the river further downstream.

Naturally, in this case, the screens designed to prevent floating debris from entering the turbines must have bars spaced at intervals which will enable the fish to pass through without injury (Eicher and Mis processes developed in the US - Fig. 27). These screens, which are tilted in relation to the current, are self-cleaning.

Another similar method, which requires a good knowledge of the life cycle of the fish and their downstream migration, involves providing a special canal at the upper level of the power house reservoir which would take the fish to a by-pass (Fig. 28). This type of system is successful as long as the water intake to the turbines is sufficiently deep and the descending fish swim in the upper layers of the water (this is generally the case for Salmonidae). The disadvantage of such a structure, however, is that it would complicate screen cleaning operations. This problem could be solved by placing the by-pass entrance on a bank of the power plant. The entrance would have to be sufficiently wide (2 m) and a lead current would be required to attract the fish.

#### **3.9.4. Barriers**

When spillways and turbines present a danger to fish, a special barrier could be installed to prevent the fish from entering. The same applies to agricultural and industrial water intakes.

The first solution that comes to mind is a screen which is fine enough to prevent the passage of the fish (openings of 0.5 to 2.5 cm). There are a number of disadvantages to this type of installation: obstruction by debris, fish can get trapped against the screens. The problem can be solved by installing cleaning devices (such as a self-cleaning rotating screen) and by ensuring that the current speed at the entrance to the screen is fairly low (15 to 30 cm/s). Naturally, the fish must be able

poissons trouvent une issue vers un by-pass qui les conduira à l'aval. Pour ce faire, ils doivent être guidés par un courant d'attrait transversal à la grille.

Une formule plus séduisante serait une barrière plus ouverte, évitant un dégrillage coûteux et ayant un effet répulsif vis-à-vis des poissons. Différents procédés ont été recherchés utilisant la lumière, l'électricité ou les ultra-sons. Il ne semble pas actuellement qu'aucun ait atteint un stade industriel efficace et ils sont sans effet dès que la vitesse du courant dépasse 0,30 m/s. La seule barrière qui paraisse aujourd'hui donner lieu à de bons résultats est la barrière hydrodynamique (Fig. 29) qui pose cependant des problèmes d'entretien à cause des risques de colmatage.

### 3.10. BIBLIOGRAPHIE/BIBLIOGRAPHY

- |    |   |  |
|----|---|--|
| 32 | BEITZ 1992 - 12 pages   | Dumbleton weir fish lock - ANCOLD<br>Bulletin No. 94 - Australia   |
| 33 | BELL 1986 - 290 pages   | Fisheries handbook of engineering requirements<br>and biological criteria (Chapters 22, 25, 26, 30,<br>33, 34) - US Corps of Engineers - USA.                          |
| 34 | BOITEN 1990   | Hydraulic design of the pool-type fishway with<br>V-shaped overfalls. Proceedings of the<br>international symposium on fishways in Gifu –<br>8-10 October 1990 - Japan |
| 35 | DELPHIN 1994 - 7 pages  | Passes à poissons sur la Drôme et l'Ouvèze -<br>Compagnie Nationale du Rhône - France  |
| 36 | DESROCHERS 1995 - 107 pages   | Suivi de la migration de l'anguille d'Amérique<br>( <i>anguilla restrata</i> ) au complexe Beauharnois -<br>Hydro-Québec - Canada                                      |
| 37 | GAUTHIER 1989 - 112 pages   | Le passage des poissons dans les turbines, revue<br>de la problématique - Hydro-Québec   |
| 38 | GRÉGOIRE 1984 - 5 pages   | Poissons migrateurs et barrages. Connaissance<br>de la pêche - France  |
| 39 | IDAHO NATIONAL<br>ENGINEERING LABORATORY<br>1994 - 350 pages              | Environmental mitigation at hydroelectric<br>projects. Volume II : Benefits and cost of fish<br>passage and protection - U.S. Department of<br>Energy USA              |
| 40 | JAPAN WATER RESOURCES<br>ENVIRONMENT TECHNOLOGY<br>CENTER 1992 - 19 pages | Fishways in Japan. For the creation of fish<br>friendly rivers   |
| 41 | JOLIMAITRE 1992 - 42 pages  | Franchissement par l'aloce feinte de la chute de<br>Vallabrègues - ENGREF et CSP - France  |
| 42 | HAJKOWICZ, KERBY 1992 - 35 pages  | Fishways in Queensland. Supporting technical<br>information. Queensland Department of<br>Primary Industries - Brisbane - Australia                                     |
| 43 | HEISLEY, MATHUR, EUSTON 1996 - 6 p  | Passing fish safely : a closer look at turbine<br>vs. spillway survival - Hydro review, June 1996<br>- Québec  |

to find a way to a by-pass which will take them downstream. A lead current flowing across rather than towards the screen can be used to guide them.

A more attractive alternative would be a more open barrier, which would avoid the use of costly screens and would discourage the fish from entering the spillway or turbine. Different methods have been tried using light, electricity or ultrasound techniques. So far, none of these solutions has reached an efficient industrial level and these methods do not have any effect once the current is faster than 0.30 m/s. The only barrier which seems to give good results is the hydro-dynamic barrier (Fig. 29), but maintenance is difficult because of problems of clogging.

- |    |  |   |
|----|--|---|
| 44 | LA HOUILLE BLANCHE 1987 -<br>numéros 1-2 - 155 pages             | Définition et contrôle de l'efficacité des passes<br>à poissons - France  |
| 45 | LARINIER, DARTIGUELONGUE 1989 -<br>53 pages                      | La circulation des poissons migrateurs. Le<br>transit à travers les turbines des installations<br>hydroélectriques – Bulletin français de la<br>pêche et de la pisciculture No. 312 - 313 |
| 46 | LARINIER, TRAVADE 1995 - 37 pages                                | La migration de dévalaison des poissons :<br>Problèmes, dispositifs, recherche et<br>développement - E.D.F., Direction des Etudes<br>et Recherches - France                               |
| 47 | LARINIER, PORCHER, TRAVADE,<br>GOSSET 1994 - 336 pages           | Passes à poissons - Expertise et conception des<br>ouvrages de franchissement - Collection mise<br>au point - Conseil supérieur de la pêche -<br>France                                   |
| 48 | MALLEN-COOPER 1988 - 24 pages                                    | Fish passage in the Murray-Darling basin -<br>Murray Darling Basin Commission - Australia   |
| 49 | MALLEN-COOPER 1988<br>HARRIS, THORNCRAFT 1992 - 16 pages         | Enhancing upstream passage of fish through<br>a navigation lock on river Murray – Murray<br>Darling Basin Commission – Australia.   |
| 50 | PORCHER, TRAVADE, LARINIER 1992 -<br>206 pages                   | Gestion des ressources aquatiques. Bulletin<br>français de la pêche et de la pisciculture.<br>Numéros 326 - 327 - France  |
| 51 | TRAVADE, BOUCHARD 1995 - 14 pages                                | Quand passent les saumons - Revue Epure -<br>EDF - France   |
| 52 | TRAVADE, LARINIER, TRIVELLATO,<br>DARTIGUELONGUE 1992 - 27 pages | Conception d'un ascenseur à poissons adapté à<br>l'alose sur un grand cours d'eau : l'ascenseur<br>de Golfech sur la Garonne -Revue d'hydro-<br>écologie appliquée - France               |
| 53 | VERHOEVEN, VANPONCKE, VERDONCK,<br>GODERIS - 7 pages             | Hydraulic design of V-shaped fish ladders -<br>Bulletin No. 85 - 53 - Belgium   |
| 54 | ZYLBERBLAT, MENELLA 1996 - 13 pages                              | Franchissement de poissons migrateurs par les<br>écluses de navigation - Compagnie Nationale<br>du Rhône - France   |

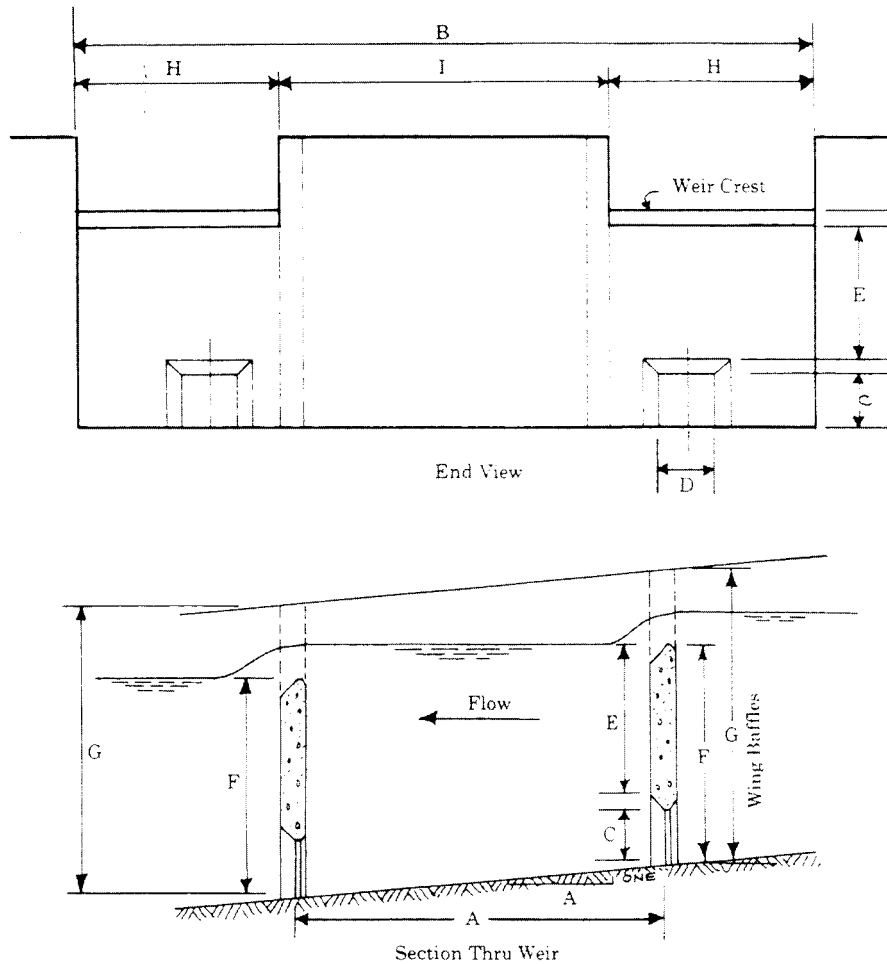


Fig. 17

Baffles with overflow weirs and bottom submerged orifices as used at Ice Harbor (USA)  
*Parois à déversoirs et orifices de fond selon le type Ice Harbor (États-Unis)*

End view	<i>Vue d'extrémité</i>	
Weir crest	<i>Crête du déversoir</i>	
Section thru weir	<i>Coupe à travers le déversoir</i>	
Flow	<i>Écoulement</i>	
Wing baffles	<i>Parois latérales</i>	
A	Pool length / <i>Longueur du bassin</i>	8 - 20 ft
B	Pool width / <i>Largeur du bassin</i>	6 - 20 ft
C	Orifice height / <i>Hauteur de l'orifice</i>	18 in
D	Orifice width / <i>Largeur de l'orifice</i>	15 in
E	Position of orifice vertically / <i>Position de l'orifice (verticalement)</i>	4.25 ft
F	Weir height / <i>Hauteur du déversoir</i>	6 ft
G	Wing baffle height / <i>Hauteur de la paroi latérale</i>	8 ft
H	Position of wing baffle / <i>Position de la paroi latérale</i>	1.5 - 5 ft
I	Width / <i>Largeur</i>	1/2 de B

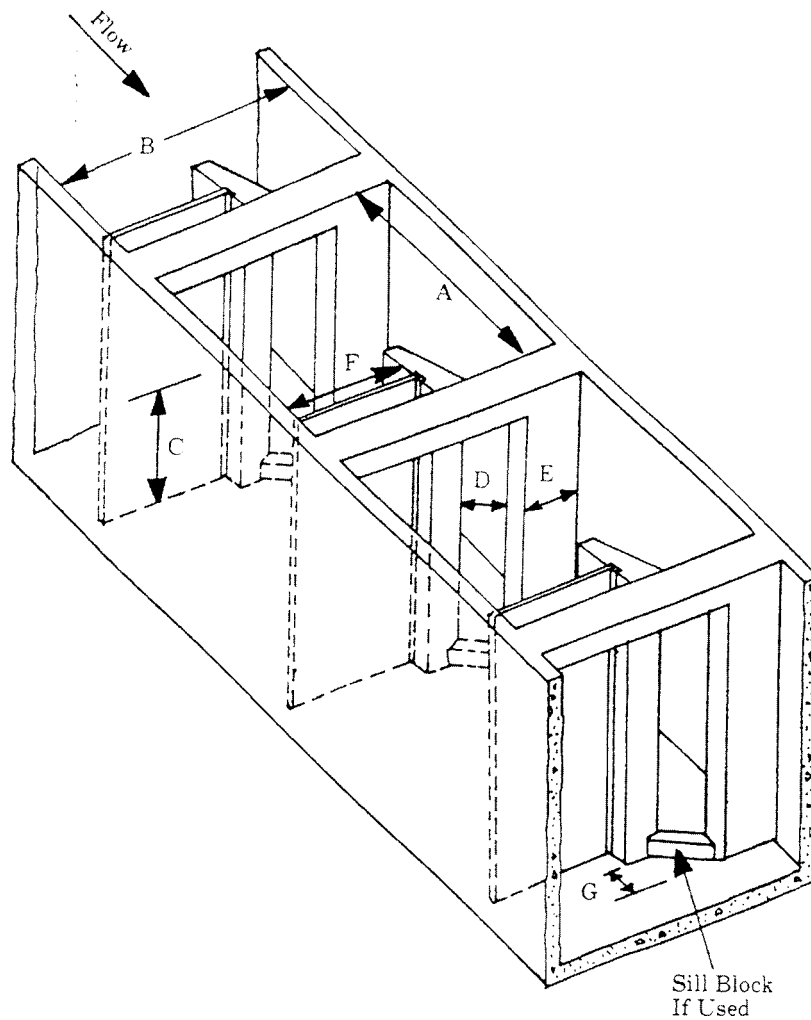


Fig. 18

Vertical slot fish ladder (from " Fisheries handbooks " by Milo C. Bell)

Échelle à poissons à fentes verticales (d'après « Fisheries handbooks » par Milo C. Bell)

Flow	Écoulement		
Sill block	Seuil		
A Pool length / <i>Longueur du bassin</i>	6'	8'	10'
B Pool width / <i>Largeur du bassin</i>	4'	6'	8'
C Water depth (min.) / <i>Profondeur d'eau (min.)</i>	2'	3'	3'
D Slot width / <i>Largeur de la fente</i>	.5*	.75*	1.0*
	* Sill block in place / <i>Seuil en place</i>		
E Wing baffle length / <i>Longueur de la paroi latérale</i>	9"	1'-3 <sup>5/8</sup> "	1'-3 <sup>5/8</sup> "
F Wing baffle distance / <i>Distance de la paroi latérale</i>	2'	3'-1"	3'-7"
G Displacement of baffle / <i>Décrochement de la paroi</i>	4'	5'-1/2"	5'-1/2"
Discharge per foot of depth above block in cfs / <i>Débit par pied de profondeur au-dessus du seuil (ft<sup>3</sup>/s)</i>	3.2	4.8	6.4
Drop per pool / <i>Dénivellation par bassin</i>	1'	1'	1'



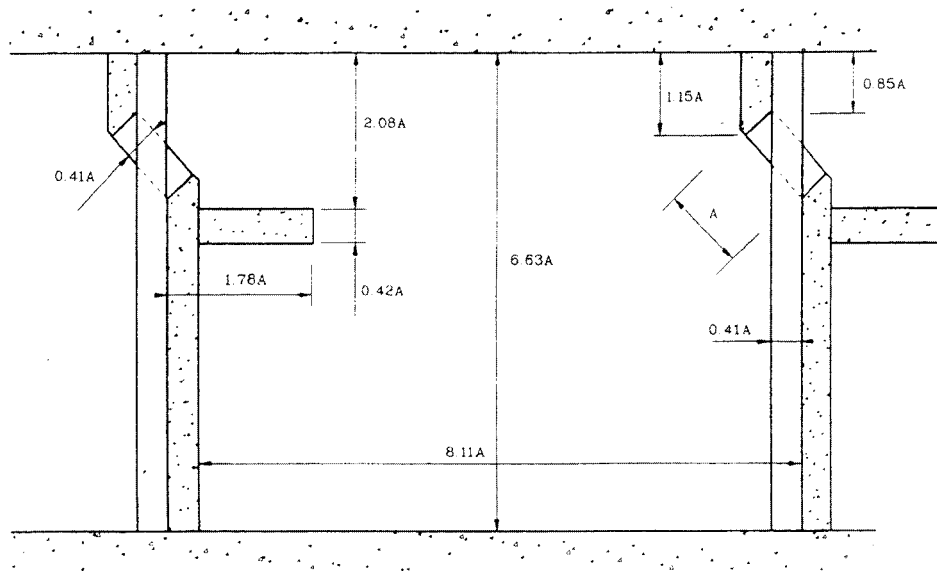


Fig. 19

Characteristics of a simplified vertical slot fishway (Larinier et Lenne)

*Caractéristiques géométriques de passes à fentes verticales simplifiées (Larinier et Lenne)*

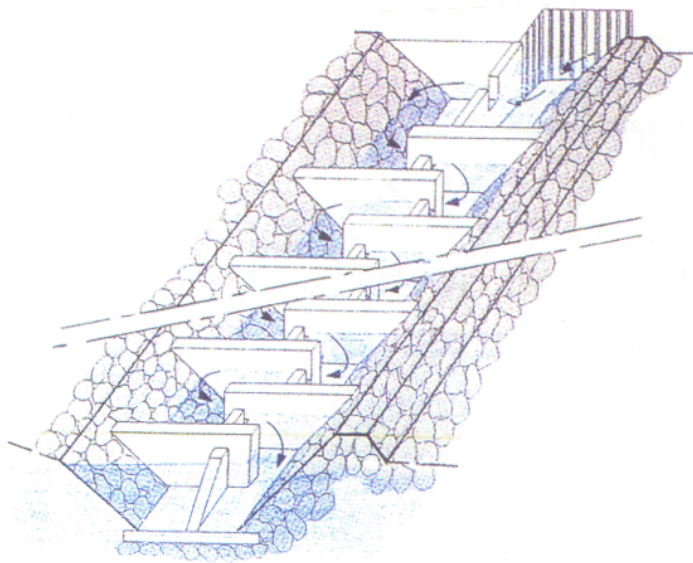
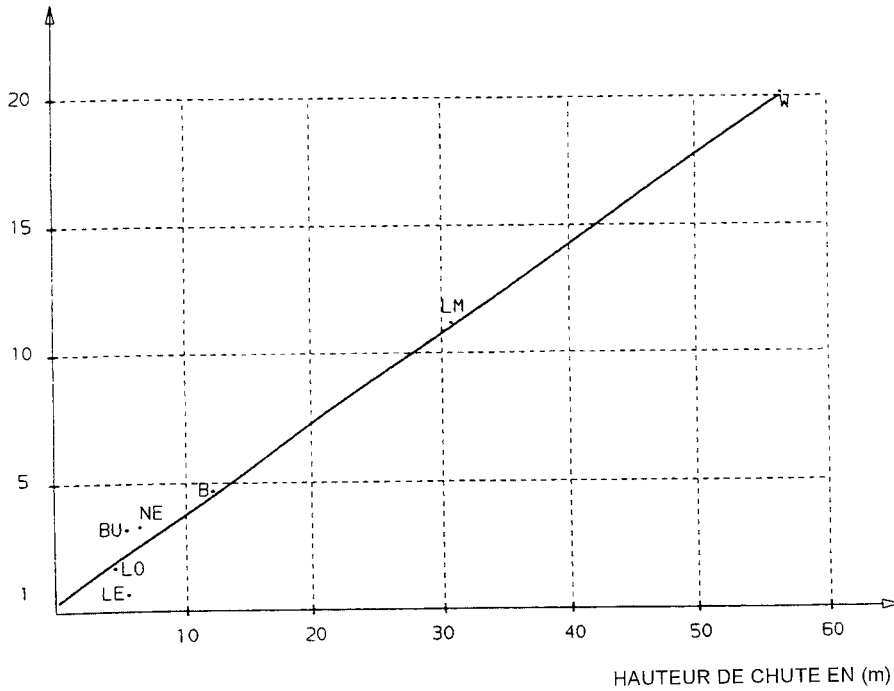


Fig. 20

Fish ladder on the Drôme river, France (cross flow giving a slope of 20 % equal to that of the sill)  
*Échelle à poissons du seuil de la Drôme, France (passe à fentes verticales et écoulement transversal  
permettant une pente de 20 % égale à celle du seuil)*

COÛT D'INVESTISSEMENT  
(M de US \$ 93)



B	BRUNSWICH	CHUTE 39' (11.9 m)	COÛT INVEST.	4.348 M \$
BU	BUCHANAN	CHUTE 15' (4.57 m)	COÛT INVEST.	3.457 M \$
LE	LEABURG	CHUTE 20' (6.10 m)	COÛT INVEST.	0.604 M \$
LO	LOWELL	CHUTE 15' (4.57 m)	COÛT INVEST.	1.742 M \$
LM	LOWER MONUMENTAL	CHUTE 100' (30.48 m)	COÛT INVEST.	11.1 M \$
W	WELLS	CHUTE 185' (56.4 m)	COÛT INVEST.	20.1 M \$
NE	WEST ENFIELD	CHUTE 21' (6.40 m)	COÛT INVEST.	3.5 M \$

Fig. 21

Construction cost of fish ladders in the USA (for salmon)

*Coût de construction d'échelles à poissons aux États-Unis (pour saumons)*

Investment cost (M US \$ 1993)  
Head (m)

*Coût d'investissement (M US \$ 1993)  
Hauteur de chute (m)*

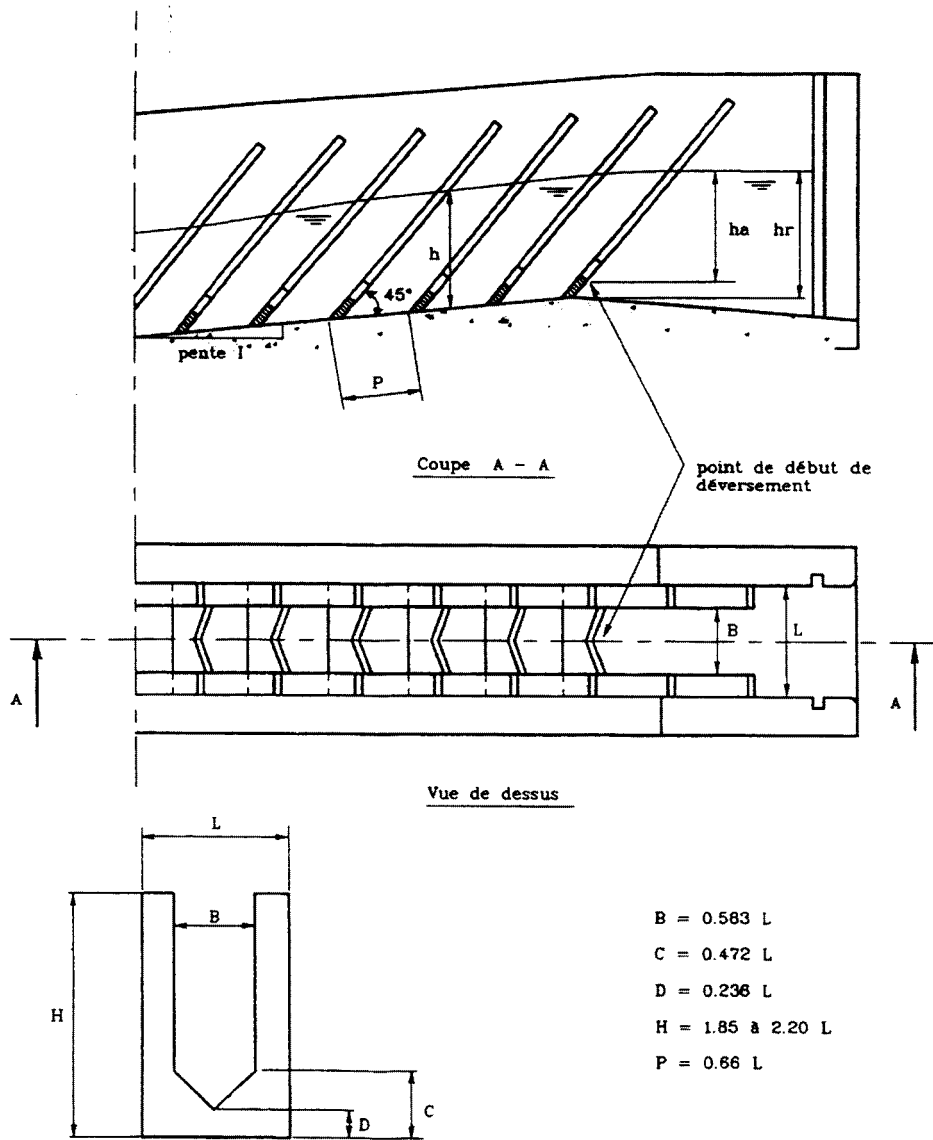


Fig. 22

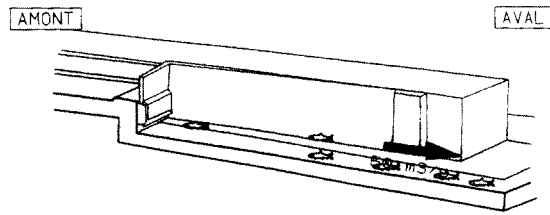
Characteristic parameters of the fishway with plain baffles (Larinier)  
*Paramètres caractéristiques de la passe à ralentisseurs plans (Larinier)*

Cross-section A - A  
 Slope  
 Top view  
 Area of first discharge

*Coupe A - A*  
*Pente*  
*Vue de dessus*  
*Point de début de déversement*

PHASE 1

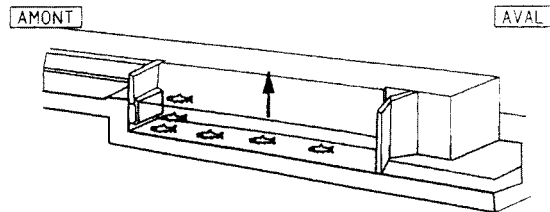
ATTRAIT DES ALOSES DANS LE SAS DE L'ECLUSE



- Portes aval ouvertes
- Ouverture des vannes d'alimentation (60 m<sup>3</sup>/s)
- Opening downstream gates
- Opening bottom inlet gates (60 m<sup>3</sup>/s)

PHASE 2

STABILISATION DES ALOSES DANS LE SAS

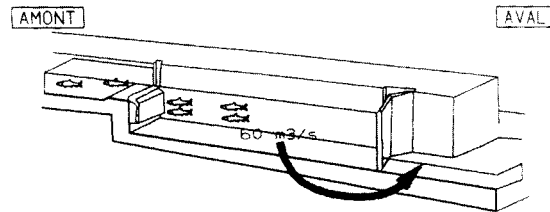


- Fermeture des portes aval
- Montée du niveau
- Closing downstream gates
- Filling lock chamber

PHASE 3

SORTIE DES ALOSES 1ERE SOLUTION

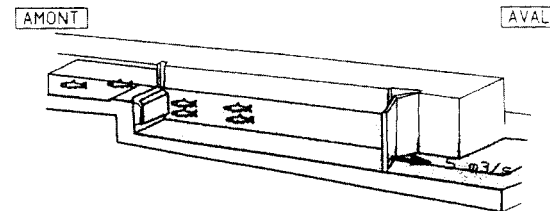
3a



- Ouverture de la porte amont
- Ouverture d'une vanne de vidange (60 m<sup>3</sup>/s)
- Opening upstream gate
- Opening bottom outlet gate (60 m<sup>3</sup>/s)

3b

SORTIE DES ALOSES 2EME SOLUTION



- Ouverture de la porte amont
- Ouverture des ventelles sur la porte aval (5 m<sup>3</sup>/s)
- Opening upstream gate
- Opening paddles in the downstream gate (5 m<sup>3</sup>/s)

Fig. 23

Use of the Vallabrègues lock (Rhône, France) as a fish pass for alose species  
*Utilisation de l'écluse de Vallabrègues (Rhône, France) pour le passage des aloses*

**Phase 1 :** Attracting the alose species  
into the lock chamber  
Upstream  
Downstream

**Phase 1 :** *Attrait des aloses dans le sas de l'écluse*

*Amont*  
*Aval*

**Phase 2 :** Holding of the fish in the lock chamber

**Phase 2 :** *Stabulation des aloses dans le sas*

**Phase 3 :** Fish going out  
3a) 1st option  
3b) 2nd option

**Phase 3 :** *Sortie des aloses*

*3a) 1<sup>re</sup> solution*  
*3b) 2<sup>e</sup> solution*

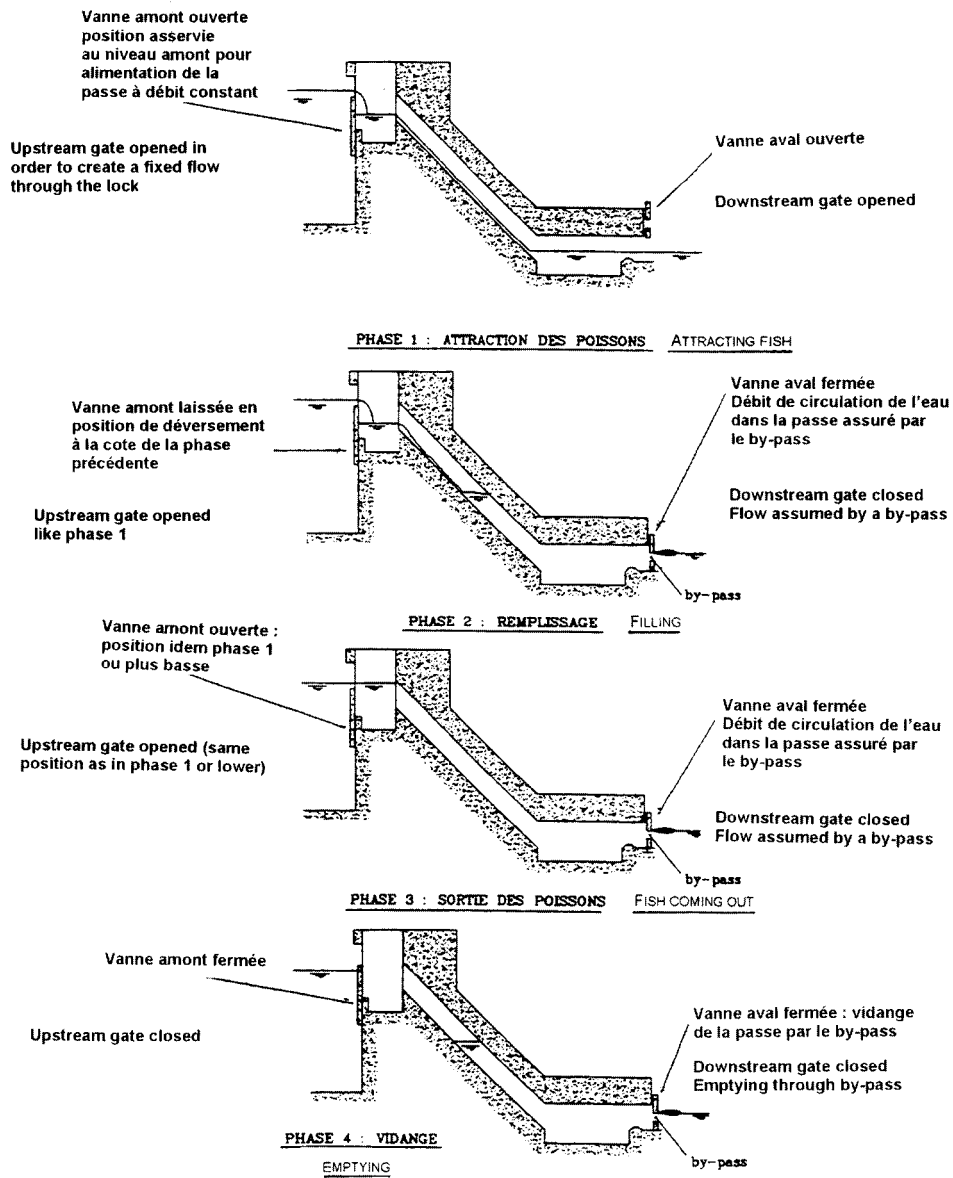


Fig. 24

View showing the operating principle of a fish lock  
Schéma de principe du fonctionnement d'une écluse à poissons

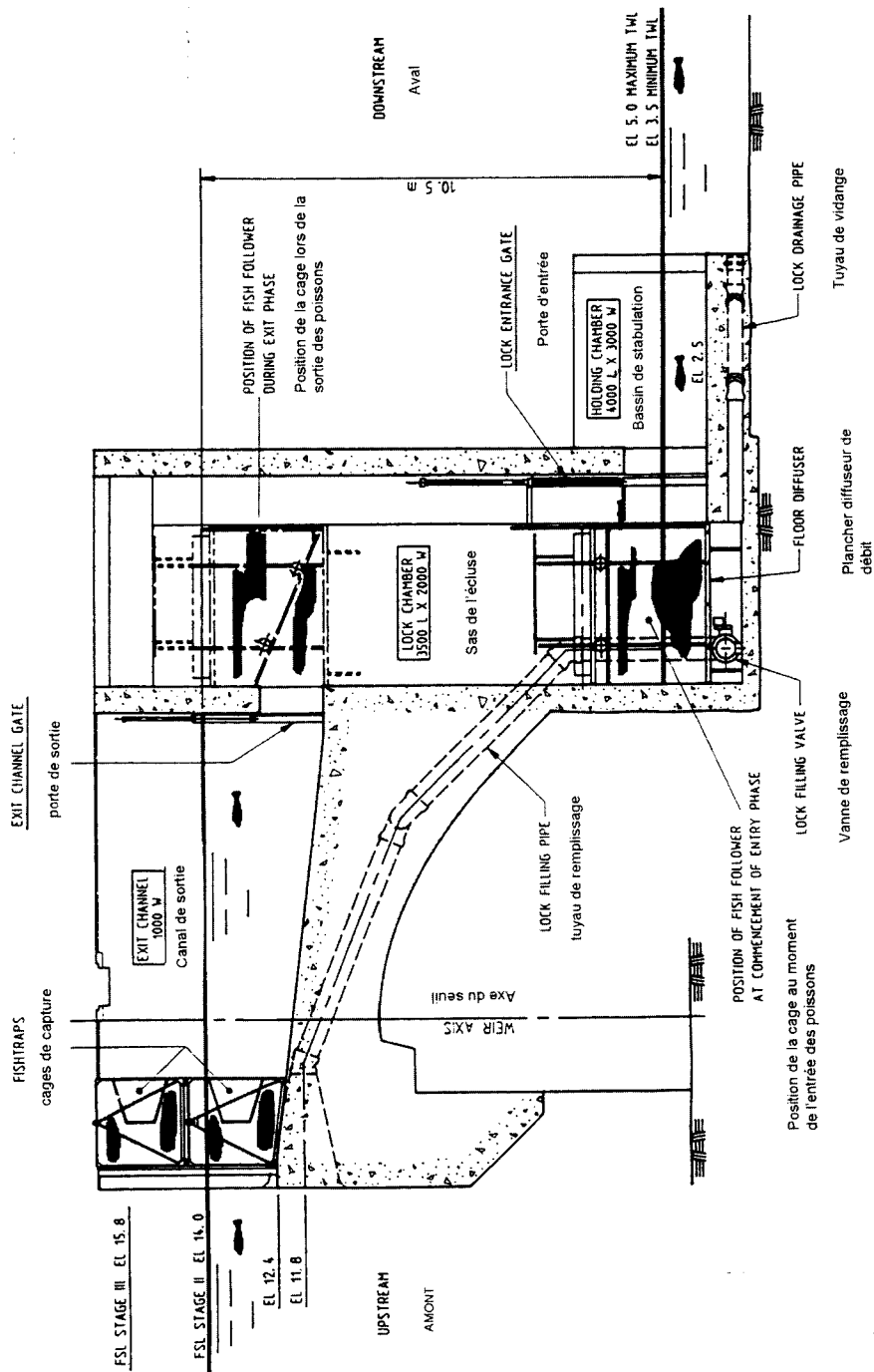


Fig. 25  
Dumbleton weir stage II (Australia) - Fish lock  
*Écluse à poissons de Dumbleton (Australie)*



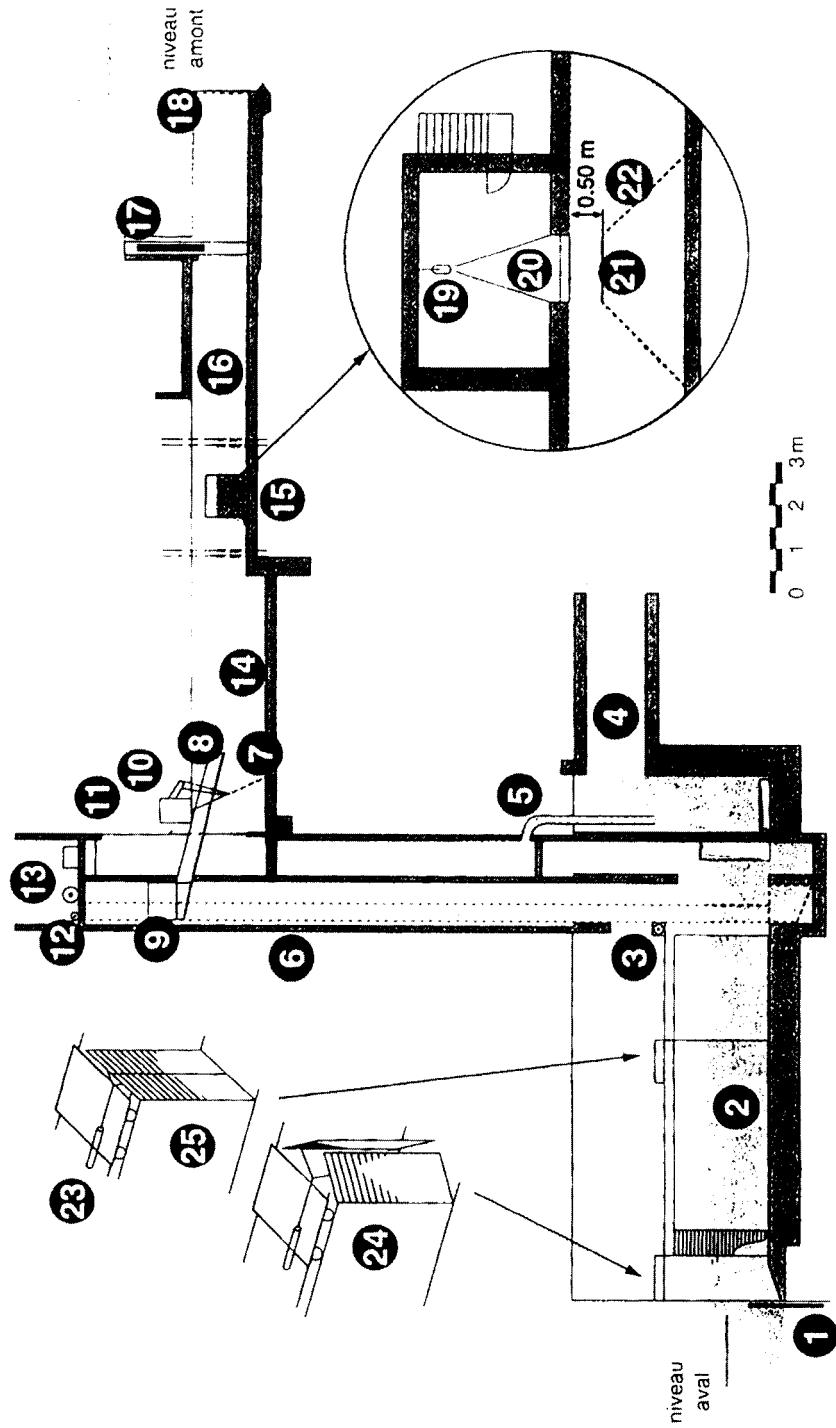


Fig. 26

Golfech (France) fish elevator

*Ascenseur à poissons de Golfech (France)*

Downstream water level

1. Automatic gate
  2. Holding chamber
  3. Truck winch
  4. Main attraction flow
  5. Outlet of channel flow
  6. Lift tower
  7. Screen
  8. Tipping
  9. Tank in upper position
  10. Cleaning device
  11. Regulation flow gate
  12. Mobile screen winch
  13. Tank winch
  14. Receiving basin
  15. Counting window
  16. Exit channel
  17. Isolating gate
  18. Screen
- Upstream water level
19. Camera
  20. Window
  21. Grid PVC map
  22. Screen
  23. Jack
  24. Truck in fishing position
  25. Truck in filling position

Niveau aval.

1. Vanne automatique
  2. Bassin de stabulation des poissons
  3. Treuil de manœuvre du chariot
  4. Débit d'attrait principal
  5. Évacuation du débit du canal
  6. Tour de l'ascenseur
  7. Grille
  8. Goulotte
  9. Cuve en position haute
  10. Dégrilleur
  11. Vanne de réglage du débit du canal
  12. Treuil grille mobile
  13. Treuil cuve
  14. Fosse de réception
  15. Vitre de comptage
  16. Canal de transfert
  17. Vanne d'isolement
  18. Grille de protection
- Niveau amont
19. Caméra
  20. Vitre
  21. Plaque PVC quadrillée
  22. Grille
  23. Vérin
  24. Chariot en position de pêche
  25. Chariot en position de concentration

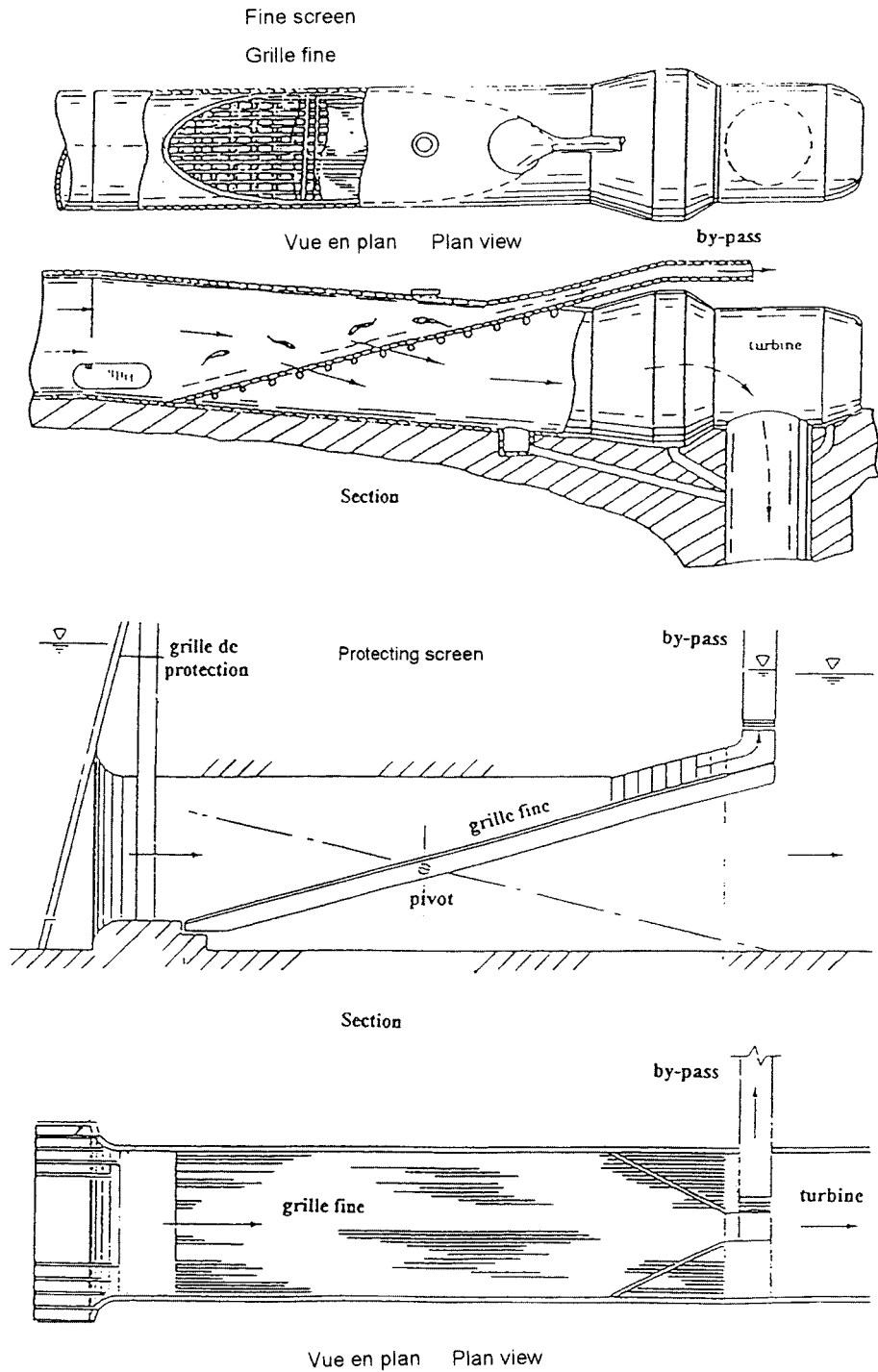


Fig. 27

Operation of Eicher and Mis screens  
*Schéma de principe des grilles Eicher et Mis*

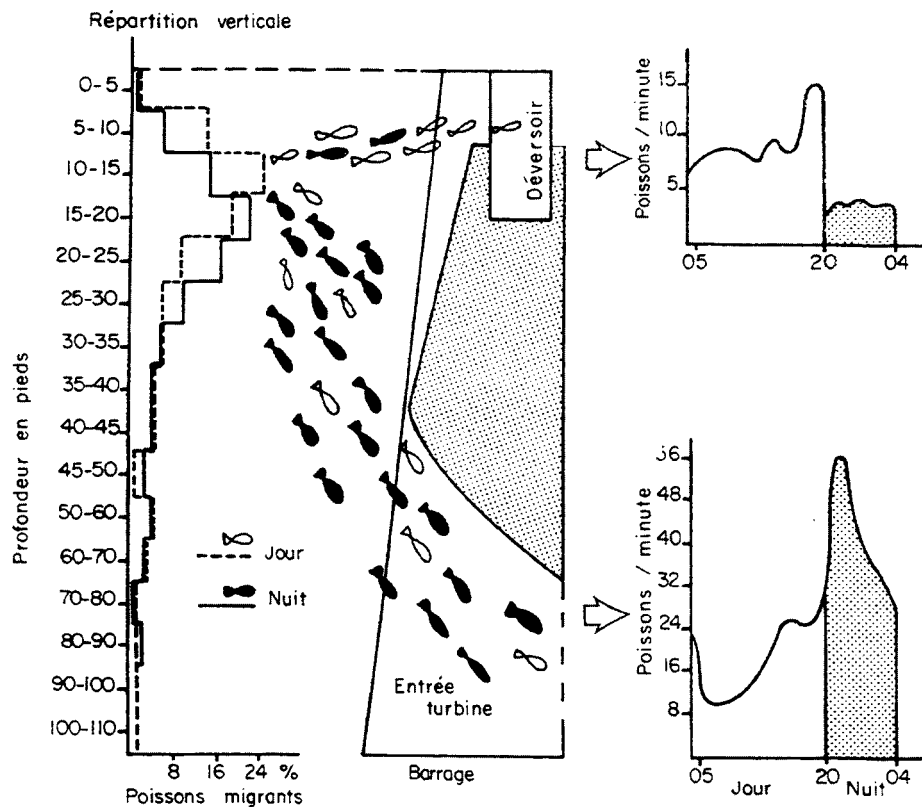


Fig. 28

Surface structure designed to divert some of the migrating fish away from the turbine (salmons in Ice Harbor reservoir, USA, from Soundings, Biosenics publication)

*Déversoir permettant d'éviter, en partie, le passage des poissons dans la turbine (saumons dans la retenue Ice Harbor, États-Unis, d'après Soundings, Biosenics publication)*

Distribution along the depth  
 Depth (feet)  
 Migrating fish  
 ----- Day  
 \_\_\_\_\_ Night  
 Weir  
 Turbine entrance  
 Dam  
 Fish/min

Répartition verticale  
 Profondeur (pieds)  
 Poissons migrants  
 ----- Jour  
 \_\_\_\_\_ Nuit  
 Déversoir  
 Entrée turbine  
 Barrage  
 Poissons/min

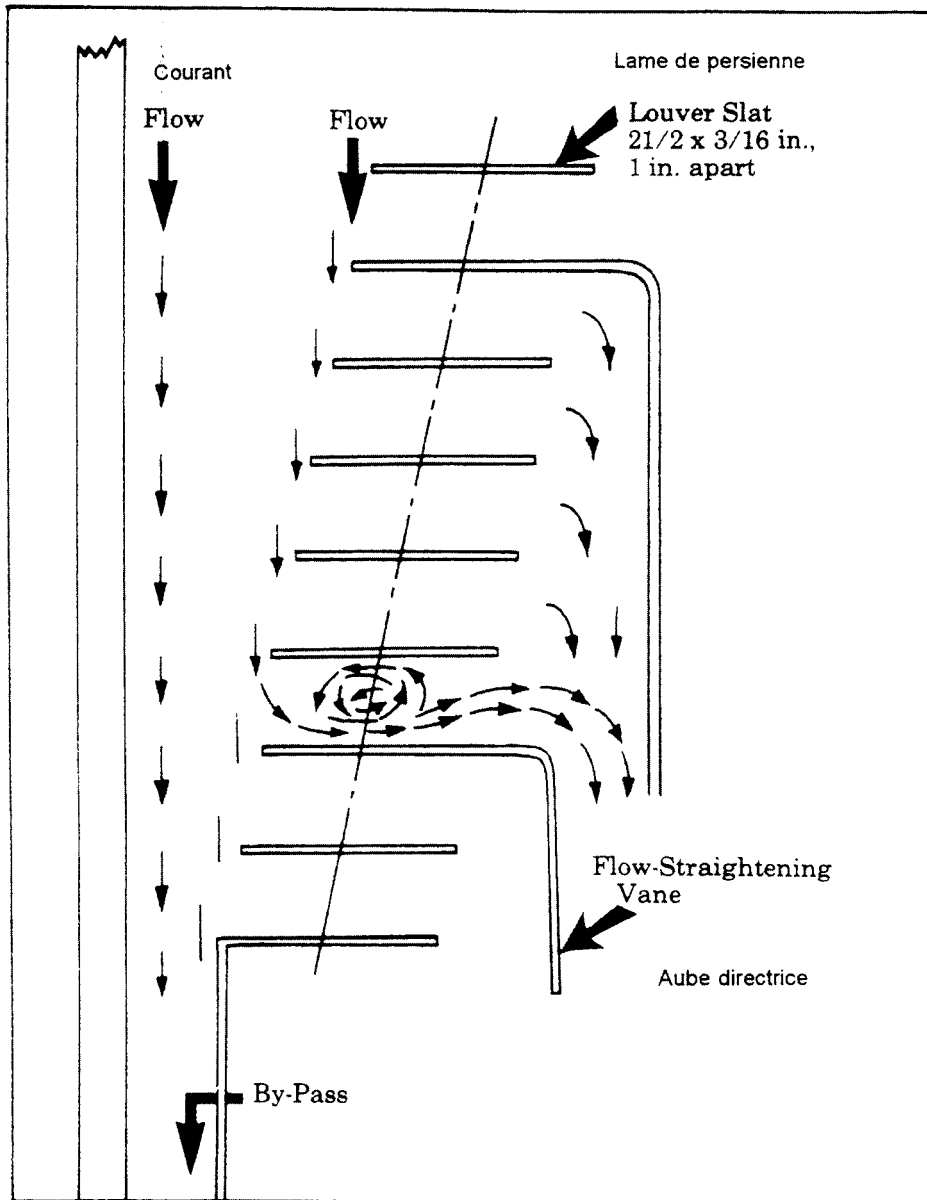


Fig. 29  
 Hydrodynamic screen (USA)  
*Grille hydrodynamique (États-Unis)*



---

## 4. LES POISSONS À L'AVAL DU BARRAGE

---

### 4.1. EFFETS DU BARRAGE SUR LE RÉGIME DES EAUX À L'AVAL

#### 4.1.1. Barrage sans dérivation

##### *Changement du régime de la rivière*

Si le barrage est placé dans le lit même de la rivière et y rejette toutes les eaux, le régime hydraulique de celle-ci est modifié, soit que le barrage écrête les crues, soit qu'il procède à des lâchures à certains moments pour l'irrigation ou la production d'énergie hydroélectrique. Ce changement de régime a des conséquences sur la vie piscicole.

Les variations rapides du niveau de l'eau résultant des éclusées énergétiques peuvent, en effet, perturber les frayères, soit en asséchant les œufs, soit en les détachant de leur support. Elles peuvent aussi isoler les poissons du cours principal. La préoccupation du maintien de la vie piscicole pourra ainsi conduire à introduire certaines restrictions de date et de rythme dans les lâchures, ou à veiller à une variation très progressive du débit en fin de lâchure.

D'autre part, les crues sont, pour certaines espèces de poissons, un stimulus qui favorise la migration. Leur disparition peut perturber leur migration et leur reproduction. Enfin, les crues, en submergeant les prairies du lit majeur, contribuent à l'alimentation des poissons. On pourra, ainsi, être amené à modifier la consigne d'exploitation pour conserver ou provoquer en temps opportun de petites crues juste débordantes.

D'une manière générale, la variabilité du débit d'une rivière influence sa faune et sa flore. Par exemple, en Nouvelle-Zélande, les rivières de la côte est, qui ont une forte variabilité, abritent une population végétale et animale différente de celles de la côte ouest au débit plus régulier.

Dans les rivières tropicales, la régulation diminue les crues en saison humide et augmente le débit en saison sèche. Cela peut provoquer des changements significatifs près de l'estuaire s'il n'y a pas de barrière naturelle entre la mer et le barrage (chutes d'eau). La limite des eaux saumâtres est repoussée vers la mer et cela change la composition de la population piscicole dans ce secteur. En outre, le débit qui est soutenu pendant la saison sèche empêche l'assèchement de l'habitat des poissons et contribue au maintien de leur population. C'est le cas dans certaines rivières africaines ainsi régulées.

##### *Changement de la qualité des eaux*

Le barrage modifie non seulement le régime, mais aussi la qualité physico-chimique de l'eau. Il provoque généralement une décantation dans la retenue. Sauf développement planctonique important, les eaux qui en sortent sont plus claires, ce qui facilite la pénétration du soleil et, si l'eau contient de l'azote ou du phosphore, le développement de la végétation aquatique (plancton, algues, hydrophytes).

---

## 4. FISH DOWNSTREAM OF DAMS

---

### 4.1. EFFECT OF THE DAM ON DOWNSTREAM FLOW CONDITIONS

#### 4.1.1. Dam without diversion

##### *Modification of flow regime*

If the dam is placed in the river bed itself, with all the water being discharged into the river, the flow conditions are modified : either the dam attenuates the floods, or it releases water at certain times for irrigation or hydropower production purposes. This change in flow conditions has an impact on fishlife.

Sudden changes in the water level caused by surges of turbine sluicing water can disturb the spawning grounds: eggs may either dry up or become detached from their supporting medium. Such changes can also isolate fish from the main stream of the river. In order to preserve fishlife, certain restrictions might therefore be introduced concerning the dates and frequency of water releases, or care could be taken to ensure that variations in flow rate at the end of releases are very gradual.

In addition, for certain species, floods can constitute a stimulus which encourages migration. If the floods are eliminated, migration and reproduction cycles may be disturbed. Finally, by submerging the river's flood plain, floods play a role in ensuring food supplies for the fish. It therefore may be necessary to adjust operational guidelines in order to maintain or cause small floods which just overflow the banks at appropriate times of the year.

Generally speaking, flow variability can influence the number of plant and animal species present in a river. For instance, in New Zealand, east coast rivers with high variability have different fauna and flora from those on the west coast with low flow variability.

In tropical rivers, regulation reduces floods in the wet season but also increases the minimum dry season flow. This can induce significant changes near estuaries, especially if there are no natural barriers (waterfalls) between the sea and the dam. The brackish water line is pushed towards the sea, which in turn changes the fish community composition in the section of the river affected. On the other hand, this minimum flow that is maintained during the dry season protects fish habitats from drought and contributes to maintaining the fish populations. This is the case in certain regulated African rivers.

##### *Modification of water quality*

The dam not only modifies the flow conditions of the river but also the physical and chemical characteristics of the water. It usually results in sediment settling in the reservoir. Except where there is significant development of plankton, the water leaving the reservoir is clearer, which facilitates the penetration of the sun and, if the water contains nitrogen or phosphorus, the development of aquatic plants and organisms (plankton, algae, hydrophytes).



Dans la plupart des cas, c'est-à-dire lorsque la capacité de la retenue est relativement forte par rapport à l'apport hebdomadaire moyen de la rivière, la retenue est le siège d'une stratification thermique et chimique des eaux.

Celles de surface sont à une température relativement proche de celle de l'air et sont normalement oxygénées. Suivant le niveau des prises d'eau, les caractères physico-chimiques de l'eau à l'aval du barrage peuvent ainsi être fortement modifiés. Les échanges avec l'atmosphère font évoluer progressivement ces caractères à l'aval du barrage, mais le tronçon de rivière où la physico-chimie de l'eau a été ainsi modifiée peut être important.

Selon les espèces de poissons qui fréquentent la rivière (sensibilité à la température, mode d'alimentation, exigence en oxygène), il pourra donc être souhaitable de veiller à caler la prise d'eau au niveau assurant les caractères physico-chimiques les plus convenables pour les poissons. En l'occurrence, ce niveau est un compromis avec les autres exigences de l'exploitation

Un exemple est donné par la retenue de Petit Saut en Guyane française, citée au chapitre 2, qui fait l'objet d'études écologiques approfondies. La mise en eau s'est achevée en juin 1995. Seule la couche superficielle de la retenue est oxygénée.

L'évacuation des eaux se fait par trois systèmes :

- un déversoir et un clapet de surface évacuent les eaux oxygénées; en outre, la forme en marches d'escalier du premier et en saut de ski du second sature l'eau en oxygène. Le débit normal est de 540 m<sup>3</sup>/s.

- trois évacuateurs de fond prélèvent des eaux anoxiques (capacité maximale 3 045 m<sup>3</sup>/s)

- les prises d'eau de la centrale hydroélectrique, grâce à une pré-digue arasée à 15 m sous la retenue maximale, prélèvent les eaux de la tranche supérieure de la retenue (au maximum 440 m<sup>3</sup>/s). Toutefois, actuellement, ces eaux sont très peu oxygénées et chargées en méthane dissous.

La préservation de la qualité des eaux à l'aval du barrage a été assurée par diverses mesures mises au point à l'aide d'essais approfondis :

- un seuil déversant à deux chutes successives (qui réduit la chute et la production électrique de 10 %) assure le mélange et la réoxygénation des eaux en attendant que la couche oxygénée de la retenue s'épaississe,

- un système diffuseur d'air comprimé a été mis en œuvre mais n'a pas donné de résultats significatifs.

Les consignes d'exploitation combinent la connaissance du taux d'oxygène à l'aval, mesuré en continu, avec les besoins énergétiques du pays et le débit naturel de la rivière. Elles répartissent ainsi au mieux l'évacuation des eaux entre les trois systèmes évoqués ci-dessus.

#### **4.1.2. Barrage avec dérivation : conséquences de la réduction du débit**

Dans le cas où le barrage détourne les eaux dans une dérivation qui ne les restitue que très loin à l'aval, le débit de la rivière sur le tronçon court-circuité par la

In most cases, the reservoir capacity is relatively high compared with the average weekly inflows from the river and the reservoir becomes the site of thermal and chemical stratification.

The temperature of the surface layers is fairly close to that of the air. These layers are usually oxygenated. Depending on the level of the intakes, the physico-chemical characteristics of the water downstream of the dam may thus be greatly modified. Exchanges with the atmosphere mean that these characteristics change gradually downstream of the dam, but the physico-chemical changes in the water may affect a significant section of the river.

Depending on the requirements of the fish species found in the river (sensitivity to temperature, feeding habits, oxygen requirements), it may therefore be advisable to set the intakes at a level conducive to maintaining the physico-chemical characteristics which are best suited to the fish. In practice, this level is a compromise between other operating requirements.

An example is given by the Petit Saut dam in French Guiana, mentioned in chapter 2, for which in-depth ecological studies were performed. The filling of the reservoir reached completion in June 1995. Only the surface layer of the reservoir is oxygenated.

The water is released by three systems:

- a weir and surface flap gate release the oxygenated water; in addition, the staircase shape of the weir and ski-jump shape of the gate saturate the water with oxygen. The normal flow rate is 540 m<sup>3</sup>/s,
- three bottom outlets remove anoxic water (maximum capacity 3 045 m<sup>3</sup>/s),
- the water intakes of the hydropower plant, which have a pre-weir levelled 15 m below the maximum pool level, remove the upper level of water from the reservoir (at a maximum rate of 440 m<sup>3</sup>/s). However, this water is very little oxygenated at present and has a high dissolved methane content.

Water quality downstream of the dam is preserved by various measures that were finalised by means of in-depth tests:

- an overflow weir with two successive drops (that reduces the head and electricity production by 10 %) mixes and reoxygenates the water until the oxygenated layer of the reservoir becomes thicker,
- a compressed air diffusion system was installed but has never given significant results.

The operating instructions combine knowledge of the oxygen content downstream, which is measured on a continuous basis, with the country's energy requirements and the natural discharge of the river. Water is then channelled in the best way through the three systems referred to above.

#### **4.1.2. Dam with diversion : effect of the reduction in flow**

If the dam redirects the water towards a diversion which joins the river a long way downstream, the flow in the part of the river by-passed by the diversion is

dérivation est réduit pendant de longues périodes de temps. Ce changement de régime de la rivière est beaucoup plus important que dans le cas précédent.

Cette réduction de débit entraîne une diminution de la vitesse du courant, du volume des eaux et de la superficie du plan d'eau, ainsi qu'un abaissement du niveau. En outre, elle peut avoir des conséquences dans l'estuaire.

**La réduction de vitesse** peut modifier la distribution des espèces de poissons en affectant la population des espèces rhéophiles au profit des espèces lenticques. Elle peut provoquer le dépôt des matières en suspension et colmater certaines frayères.

**La réduction du volume des eaux** entraîne une plus grande sensibilité au rayonnement solaire. Ainsi, la différence de température de l'eau entre jour et nuit est-elle augmentée, et globalement la température de l'eau s'échauffe progressivement vers l'aval en été et se refroidit en hiver.

**La diminution de la superficie du plan d'eau** peut réduire les possibilités de sports nautiques. Elle modifie l'aspect de la rivière. Des plages apparaissent, qui, si elles ne sont pas entretenues, peuvent se couvrir de végétation arbustive et constituer un obstacle à l'écoulement des crues.

**L'abaissement du niveau** entraîne un abaissement corrélatif des nappes phréatiques riveraines et peut affecter les captages d'eau potable. Il réduit les possibilités de navigation et peut même gêner le passage des poissons migrateurs. D'une manière générale, il entraîne une diminution sensible de la surface des zones marécageuses ou simplement humides qui sont particulièrement intéressantes en raison de la diversité et de la richesse de leur faune et de leur flore. Enfin, il change la végétation rivulaire qui a une grande importance sur l'écosystème fluvial.

Il est possible de remédier à certains de ces effets en créant des seuils qui remontent le plan d'eau et rétablissent la superficie initiale du plan d'eau. Cependant, ces seuils ont l'inconvénient d'accroître l'aspect lenticque déjà généré par la réduction du débit. En outre, ils constituent des obstacles à l'écoulement solide et à la dérive des invertébrés benthiques. Si l'on n'a pas pris la précaution de les équiper de passes à poissons, ils peuvent gêner les migrations.

**Dans l'estuaire**, la réduction du débit peut entraîner une remontée des eaux saumâtres dans les rivières avec formation d'un coin salé sur le fond, ce qui peut causer des dommages aux captages d'eau pour l'agriculture ou l'alimentation humaine et modifie la distribution des espèces piscicoles. En outre, un trop faible débit peut entraîner un envasement de l'estuaire.

**D'une manière générale, la réduction de débit** entraîne une diminution des possibilités de captage d'eau pour l'industrie, l'agriculture et l'alimentation humaine. En outre, elle réduit la possibilité de dilution des effluents et rend la rivière plus sensible à la pollution.

#### **4.1.3. Barrage avec dérivation : détermination du débit réservé**

La détermination du débit minimal à maintenir dans une rivière court-circuitée par une dérivation nécessite d'abord une analyse des divers effets de la réduction de débit.

reduced for long periods of time. This change in regime is much more significant than in the previous case.

This reduction also causes a drop in current speed, volume of water, surface area of the river and water level. It can also have an effect on the estuary.

The **reduction in current speed** can change the distribution of fish species, with an decrease in the number of river species and an increase in calm-water species. Suspended matter is likely to become deposited and certain spawning grounds may become clogged with sediment.

The **reduced volume of water** means that the sun's rays can penetrate more easily. There is a greater difference between day-time and night-time water temperature and in general the water becomes gradually warmer in the downstream sections in summer and colder in winter.

The **reduction in surface area** of the river can limit the possibilities of recreational activities. The appearance of the river changes. Beaches are likely to form, which must be regularly maintained so that they do not become covered by shrubs which could restrict flow during flooding.

The **lowering of the water level** causes a lowering of the local water table and affects drinking water supplies. Navigation possibilities are reduced and migrating fish may encounter problems moving along the river. In general, there is a reduction in the total area covered by marshes and wetlands. It is such areas that are of interest for the diversity and wealth of their flora and fauna. Finally, lowering the water level changes the riverine vegetation, which has an important effect on the river's ecosystem.

Some of these problems may be solved by creating sills to raise the water level and re-establish the original surface area of the water. However, such sills make the river even more lake-like. They are also an obstacle to solid flow and to benthic fauna, and unless fish passes are constructed, these sills could hinder migration.

In the **estuary**, the reduced flow can result in brackish water ascending the river, with the formation of a salt wedge on the river bottom. This can harm water sources for agriculture and domestic consumption and modify the distribution of fish species. If the flow is excessively low, the estuary can silt up.

**In general, the reduction in flow** limits water supply possibilities for industry, agriculture and domestic consumption. Dilution of effluent is also affected and the river becomes more sensitive to pollution.

#### **4.1.3. Dam with diversion: determining compensation flow**

In order to determine the minimum flow to be maintained in a river that has been diverted, an analysis must first be made of the effects of the flow reduction.

Certains de ces effets peuvent être évalués en termes monétaires et permettre la recherche d'un optimum par un calcul économique (production d'énergie électrique, navigation, prises d'eau pour l'industrie, l'agriculture ou l'alimentation humaine, traitement des effluents polluants, pêche, loisirs nautiques, remontée des eaux saumâtres et envasement de l'estuaire). D'autres, par contre, ne sont pas, en l'état actuel des techniques, évaluables en termes monétaires (valeur esthétique des plans d'eau, intérêt de l'écosystème aquatique pour la protection de la faune et de la flore).

Le choix du débit minimal ne relève ainsi pas d'un simple calcul, mais d'un compromis entre des valeurs socio-économiques et des valeurs environnementales.

Dans le cadre du présent Bulletin, on se limitera aux méthodes de calcul du débit minimal basé sur le seul effet de la réduction du débit sur les poissons. Bien entendu, dans la pratique, ceci ne constitue qu'un élément du problème et il faut y ajouter les autres effets, tels que ceux indiqués ci-dessus, pour déterminer le débit réservé.

En ce qui concerne le seul objectif piscicole, deux méthodes principales sont généralement utilisées :

- une estimation globale du débit minimal par rapport au régime hydrologique de la rivière. Cette méthode est souvent à l'origine de prescriptions réglementaires, d'ordre général, appliquées aux constructeurs de barrages. De ce fait, elle couvre, dans une certaine mesure, les objectifs non piscicoles de la détermination du débit réservé;
- une analyse fine des conséquences écologiques sur la faune piscicole; le calcul est alors strictement limité à l'aspect halieutique du problème.

Ces deux méthodes sont examinées dans les paragraphes suivants.

Enfin, il convient d'attirer l'attention sur le fait que le débit minimal n'est pas le seul facteur hydraulique important de l'écosystème fluvial. Il faut aussi considérer les crues qui, suivant leur importance, ont un effet bénéfique (nettoyage des fonds, inondation des zones nourricières, apport de benthos) ou néfaste (destruction du pavage, érosion et destruction de certains milieux). Cet aspect du problème du débit à l'aval d'un barrage est commun aux deux types d'aménagement : sans ou avec dérivation.

#### **4.2. CALCUL DU DÉBIT MINIMAL PAR RÉFÉRENCE AU RÉGIME HYDRAULIQUE DE LA RIVIÈRE**

Cette méthode repose sur l'idée simple que le débit minimal doit être dans une proportion raisonnable par rapport au débit naturel de la rivière. Elle a donné lieu à des prescriptions ou des recommandations dans certains pays. Naturellement, pour ce faire, il faut d'abord disposer d'une analyse statistique des débits de la rivière.

Some of these effects can be evaluated in monetary terms, so that an optimum value can be determined on the basis of an economic calculation (electricity production, shipping, industrial and agricultural water intakes, domestic supplies, effluent treatment, fishing, recreational activities, brackish water ascending the river and silting up of estuary). Others cannot be evaluated in simple monetary terms (aesthetic value of rivers and lakes, value of aquatic ecosystem, interest of aquatic ecosystem for protection of flora and fauna).

The choice of a minimum flow cannot therefore be based on a simple calculation. It has to be a compromise between socio-economic aspects and environmental aspects.

Within the framework of the present Bulletin, we shall simply consider minimum flow calculation methods based on the single effect of flow reduction on the fish. In practice, of course, this is only part of the problem and consideration must also be given to the other effects, such as those mentioned above, for determining compensation flow.

As far as the fish alone are concerned, two main methods are generally used:

- a general assessment of the minimum flow as a function of the river's hydraulic regime. This method is often used as a basis for general regulations to be used by dam builders. Consequently, to a certain extent this method covers the objectives unrelated to fishlife of determining compensation flow.
- a detailed analysis of the ecological effects on fishlife. In this case, the calculation is strictly limited to the aspects related to fish.

These two methods are examined below.

Finally, attention should be drawn to the fact that the minimum flow rate is not the only important hydraulic factor in the river ecosystem. There is also the question of floods which, depending on their size, can have a beneficial effect (cleaning the river bottom, flooding of the feeding area, supply of benthos) or a harmful effect (destruction of bank cover, erosion and destruction of certain milieus). This aspect of the problem of flow downstream of a dam is common to both types of scheme, that is, with or without diversion.

#### **4.2. CALCULATION OF MINIMUM FLOW RATE AS A FUNCTION OF RIVER FLOW CONDITIONS**

This method is based on the idea that the minimum flow rate should represent a reasonable proportion of the natural flow rate of the river. It is used in certain countries as the basis for regulations or recommendations. Naturally, in order to apply such methods, statistical data on the hydrology of the river must be obtained.

#### 4.2.1. En Europe

D'une manière générale, la tendance est d'augmenter les débits réservés fixés par les anciennes concessions. De nouvelles réglementations sont apparues dans certains pays, d'autres sont en préparation et en discussion. Quelquefois, ces réglementations sont nationales, le plus souvent régionales pour tenir compte des particularités climatiques.

La Suisse a voté une loi fédérale en 1992, qui fixe un débit minimal de référence sur le débit dépassé 347 jours par an. Le débit imposé pratiquement est fixé cas par cas; en général il s'élève à 2 ou 3 fois le débit de référence. Celui-ci est calculé comme suit :

$Q_{347}$	$10 \text{ m}^3/\text{s} > Q_{347} > 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$	$60 \text{ m}^3/\text{s} > Q_{347} > 10 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{347} > 60 \text{ m}^3/\text{s}$
Q réf.	$0,9 + 0,213 Q_{347}$	$2,5 + 0,15 Q_{347}$	$10 \text{ m}^3/\text{s}$

La France a voté « une loi pêche » en 1984, qui fixe le débit minimal par rapport au débit moyen de la rivière. Celui-ci est égal à 10 % du débit moyen si ce débit est inférieur à 80 m<sup>3</sup>/s et à 5 % s'il est supérieur à 80 m<sup>3</sup>/s.

Dans les autres pays, les réglementations, lorsqu'elles existent, sont provinciales et se basent soit sur le débit moyen annuel (Portugal : 10 %), soit sur le bassin versant (Italie, province de Bolzano : 2 l/s/km<sup>2</sup>), soit sur le débit de temps sec (Espagne :  $Q_{347}$ , Grèce : débit moyen d'été).

Il y a donc une grande disparité illustrant bien la difficulté qu'il y a à fixer le débit minimal sur la base de seules considérations hydrologiques.

#### 4.2.2. Aux États-Unis

Diverses méthodes ont été préconisées :

- Montana method (TENNANT 1976)
- Northern Great Plains resources program (ANON 1974, DOUGAL 1979)
- Hoppe method (HOPPE 1975)
- New England flow recommendations policy method (KNAFF 1980)
- Utah water records method (GEER 1980)
- One flow method (SAMS et PEARSON 1963)

**La méthode Montana** est la plus courante. Elle résulte de l'observation de 11 cours d'eau différents pendant dix ans aux USA pour la truite. Elle consiste à définir le débit réservé comme un pourcentage du débit annuel moyen calculé sur la période la plus longue possible.

Ces pourcentages sont indiqués dans le tableau p. 134 :

Cette méthode élaborée pour un échantillonnage réduit de rivières, dans le cas de la truite, ne peut constituer qu'une approximation. Ne reposant sur aucune considération biotique, elle ne prend pas en compte les exigences de certaines

#### 4.2.1. In Europe

In general, there is a tendency to increase the compensation flow rates fixed by former concessions. New regulations have been introduced in some countries, while they are being prepared and debated in others. Occasionally, these regulations are applicable nationally, but they are generally regional so as to take into account climatic differences.

In Switzerland, a federal law was voted in 1992 fixing a minimum reference value for the flow rate exceeded 347 days of the year. Practically, the flow rate imposed is determined for each individual case. It is generally between 2 and 3 times the reference value. The calculation is carried out as follows :

$Q_{347}$	$10 \text{ m}^3/\text{s} > Q_{347} > 2.5 \text{ m}^3/\text{s}$	$60 \text{ m}^3/\text{s} > Q_{347} > 10 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{347} > 60 \text{ m}^3/\text{s}$
Q réf.	$0.9 + 0.213 Q_{347}$	$2.5 + 0.15 Q_{347}$	$10 \text{ m}^3/\text{s}$

In 1984, France voted a « fishery law » fixing the minimum flow rate in relation to the average flow rate of the river. This is equal to 10 % of the average flow if this flow rate is less than 80 m<sup>3</sup>/s and 5 % if it is more than 80 m<sup>3</sup>/s.

In the other European countries, where rates have been fixed, they are provincial and are based either on the mean annual flow rate (Portugal : 10 %), or on the catchment basin (Italy, Bolzano province : 2 l/s/km<sup>2</sup>), or on a dry-period flow rate (Spain :  $Q_{347}$ , Greece : mean summer flow rate).

There is thus considerable disparity, which clearly shows the problems involved in determining minimum flow rates solely on the basis of hydrological factors.

#### 4.2.2. In the United States

Various methods have been recommended:

- Montana method (TENNANT 1976)
- Northern Great Plains resources program (ANON 1974, DOUGAL 1979)
- Hoppe method (HOPPE 1975)
- New England flow recommendations policy method (KNAFF 1980)
- Utah water records method (GEER 1980)
- One flow method (SAMS and PEARSON 1963)

The **Montana method** is the most commonly used. It is based on observations concerning trout on eleven rivers in the USA over a period of ten years. The method involves defining the compensation flow rate as a percentage of the mean annual flow rate calculated over as long a period as possible.

The percentages are shown in the table p. 135 :

This method was developed for a limited river sample in the case of trout and can therefore only be used to give an approximate idea. It is not based on biotic considerations and does not take into account the specific requirements of certain



Qualité piscicole de la rivière	Pourcentage du débit annuel moyen	
	d'avril à septembre	d'octobre à mars
Optimale	60 à 100	60 à 100
Quasi parfaite	60	40
Excellente	50	30
Bonne	40	20
Passable	30	10
Pauvre	10	10

espèces particulières de poissons. Enfin, elle ne peut s'appliquer aux cours d'eau à chenaux anastomosés (Fig. 30) (\*).

Elle a, cependant, le mérite de donner rapidement un ordre de grandeur. Des méthodes plus complexes s'attachent à examiner, sur un certain nombre de profils, l'évolution de la section mouillée de la rivière selon le débit.

On peut citer notamment :

- Water surface profile method (Anon 1967)
- Waters method (Waters 1976)
- Collings method (Collings 1974)
- R2 Cross Colorado method (Milhous 1978)
- USFS Region 4 method (Bartschi 1976)

La « **water surface profile method** » utilise une modélisation de l'écoulement qui permet de connaître le niveau d'eau et la vitesse du courant dans différents profils représentatifs de la rivière. Ce modèle permet de tracer, pour chacune de ces sections, des courbes de variation de la largeur du plan d'eau, de la profondeur maximale, du périmètre mouillé et de la vitesse, en fonction du débit.

L'analyse de ces courbes permet de localiser les valeurs de débits à partir desquelles les paramètres ci-dessus subissent une variation sensible (points d'inflexion des courbes). Ce sont ces valeurs qui sont utilisées pour définir le débit minimal à maintenir dans la rivière.

Cette méthode a le mérite d'examiner de plus près l'effet de variation du débit; cependant, la lecture des courbes est difficile et relativement subjective. Au surplus, chaque tronçon de rivière peut conduire à une valeur différente du débit optimal et il faut ensuite définir une valeur applicable à l'ensemble de la rivière court-circuitée par la dérivation.

---

(\*) Les Figures 30 à 34 sont données à la fin du Chapitre 4 (pages 144 à 149).

Quality of fishlife in the river	Percentage of mean annual flow rate	
	April to September	October to March
Optimum	60 à 100	60 à 100
Almost perfect	60	40
Excellent	50	30
Good	40	20
Acceptable	30	10
Poor	10	10

particular species of fish. Finally, it cannot be applied to anastomosed rivers (Fig. 30) (\*).

However, it has the advantage of providing a quick indication of values. More complex methods involve examining changes in the wetted sections of the river for a certain number of profiles

These methods include the following:

- Water surface profile method (Anon 1967)
- Waters method (Waters 1976)
- Collings method (Collings 1974)
- R2 Cross Colorado method (Milhous 1978)
- USFS Region 4 method (Bartschi 1976)

The **water surface profile method** uses a flow model to determine the water level and current speed for different representative profiles of the river. Curves can then be plotted for each section showing variations in the width of the water surface, the maximum depth, the wet area and the speed as a function of flow rate.

The curves obtained are analysed to identify the flow rate values beyond which the above-mentioned parameters are significantly modified (inflexion point of curves). These values are used to define the minimum flow to be maintained in the river.

The advantage of this method is that it provides greater insight into the effects of changes in flow rate, but it is difficult to read the curves and the method is somewhat subjective. In addition, a different optimum flow rate may be determined for each section of the river. In this case, it is then necessary to determine a value that can be applied to the entire part of the river by-passed by the diversion.

---

(\*) Fig. 30 to 34 are given at the end of Chapter 4 (pages 144 to 149).

### **4.3. CALCUL DU DÉBIT MINIMAL À PARTIR D'UNE ANALYSE PRÉCISE DES IMPACTS PISCICOLES**

Les méthodes ci-dessus présentent l'inconvénient de ne pas tenir compte des facteurs biologiques qui sont à l'origine du développement d'une faune piscicole. En outre, s'attachant généralement à définir le débit minimal comme une certaine proportion du débit moyen, elles ne tiennent pas compte du régime spécifique de la rivière et particulièrement du rapport entre le débit moyen et le débit d'étiage, ni de la répartition des crues et des étiages dans l'année. Il est évident, par exemple, que le problème de la préservation de l'écosystème est totalement différent pour deux rivières ayant le même débit moyen, mais dont l'une présente un étiage soutenu, de l'ordre du tiers ou du dixième du débit moyen, et dont l'autre subit des étiages très sévères amenant la rivière quasiment à sec.

Aussi est-il souhaitable de procéder à une analyse plus approfondie pour définir le débit minimal.

#### **4.3.1. Méthode empirique**

On peut, par exemple, comparer la rivière, après réduction du débit, à d'autres rivières présentant naturellement le même régime pour apprécier les impacts piscicoles et rechercher le débit minimal satisfaisant. On peut aussi procéder expérimentalement en essayant diverses gammes de débit. Cette méthode implique que l'on ait acquis une bonne connaissance de la faune qui fréquente la rivière et que l'on puisse apprécier correctement les effets de la réduction de débit.

Si la rivière présente un lit en tresse résultant d'une forte pente, la réduction de débit l'amènera à prendre la forme d'une rivière à méandres avec un lit mineur considérablement simplifié (Fig. 31). On pourra comparer le débit empruntant les divers bras de la tresse initiale à celui qui serait concentré dans le lit à méandres. Les bras initiaux ayant une valeur piscicole pourront aussi permettre de définir le débit souhaitable dans le nouveau lit unique. Il faudra veiller à une certaine stabilité et une certaine diversité de ce lit pour favoriser le développement du périphyton et des macroinvertébrés benthiques, par des protections en enrochement, des épis et des plantations consolidant les rives.

D'une manière générale, il est souhaitable que le débit minimal soit modulé selon les saisons pour tenir compte des périodes de frai et de migration. En outre, il est souhaitable de créer de temps en temps des petites crues pour éviter la sédimentation dans les zones un peu profondes et maintenir un fond propre à la rivière.

Enfin, les affluents jouent souvent un rôle très important pour la reproduction des poissons dans la rivière principale. Il faudra donc veiller à ce que le nouveau lit mineur communique bien avec les affluents par des ouvrages appropriés (digues, épis, échelles à poissons). En effet, il ne suffit pas d'améliorer le débit s'il n'y a pas de recrutement piscicole.

Un exemple intéressant de ce genre de recherche est donné par le projet d'aménagement d'une «rivière résiduelle» en Nouvelle-Zélande. Il s'agit de la rivière Waitaki qui présente un important lit en tresse entre le barrage et la mer, sur

### **4.3. CALCULATION OF MINIMUM FLOW RATE BASED ON AN ANALYSIS OF IMPACTS ON FISHLIFE**

The disadvantage of the above methods is that they do not take into account the biological factors which govern the development of fishlife. Moreover, since they generally aim at defining the minimum flow rate as a certain proportion of the mean flow rate, they do not take into account the specific regime of the river nor the relationship between the mean flow rate and the dry-weather flow rate or the distribution of floods and dry periods over the year. It is obvious, for example, that the problem of conserving the ecosystem is totally different for two rivers with the same mean flow rate where one has a stable dry-weather flow rate of the order of a third or a tenth of the mean flow rate and the other is subject to severe dry-water periods when the river is virtually dry.

It is therefore more advisable to conduct a more detailed analysis in order to define the minimum flow rate.

#### **4.3.1. Empirical method**

It is possible, for example, to compare the river after reduction of the flow rate with other rivers which have the same natural regime so as to assess the impact on fishlife and determine a satisfactory minimum flow rate. The question can also be approached experimentally by trying out various flow rate ranges. This method implies a thorough knowledge of the fish in the river and the ability to assess correctly the effects of the reduction in flow.

If the river bed is braided because of a steep slope, the reduction in flow rate will give the river a meandering nature with a considerably simplified bed (Fig. 31). The flow rate in the various channels of the initial braid can be compared with the flow concentrated in the meandering bed. The initial channels supporting fishlife can also be used to define the desirable flow rate in the new single river bed. It is important to ensure a certain stability and diversity in this river bed so as to promote the development of periphyton and benthic macro-invertebrates, by means of stone pitching, groynes and bank consolidation vegetation.

Generally speaking, it is preferable for the minimum flow to be modulated according to the seasons so as to take into account spawning and migration periods. It is also a good idea to create small floods from time to time to avoid sedimentation in deeper areas and thereby ensure that the river bottom is kept clean.

Finally, the tributaries play an important role on fish reproduction in the main river. The new river bed must therefore communicate properly with the tributaries by means of suitable structures (dikes, groynes, fish ladders). Indeed, it is not sufficient to optimise the discharge if there is no fish recruitment.

An interesting example of this type of research is the project to develop a "residual river" in New Zealand. This river, the Waitaki, has a wide braided bed, 65 km long and 2 km wide, between the dam and the sea. It has a steep slope of

65 km de longueur et sur une largeur de 2 km. Cette rivière présente une forte pente (3,3 m/km). Elle reçoit des saumons et des truites fario et arc-en-ciel, et est reconnue comme de haute valeur piscicole. Son débit moyen est de 349 m<sup>3</sup>/s. Les études approfondies qui ont été conduites ont amené à préconiser le débit réservé suivant :

- débit de base : 40 m<sup>3</sup>/s,
- débit de nettoyage : 120 m<sup>3</sup>/s (à effectuer toutes les 2 à 3 semaines),
- débit de crue annuelle : 400 m<sup>3</sup>/s.

A noter que la crue annuelle de la rivière est de 800 m<sup>3</sup>/s, ce qui conduit à prévoir un chenal spécifique pour l'évacuation du surplus des crues. Dans ces conditions, la rivière résiduelle présenterait 3 bras stables dont l'ensemble aurait les caractéristiques suivantes :

Débit	40 m <sup>3</sup> /s	120 m <sup>3</sup> /s	400 m <sup>3</sup> /s
Largeur cumulée des bras	75 m	130 m	240 m
Profondeur moyenne	0,60 m	0,84 m	1,20 m
Vitesse moyenne	0,88 m/s	1,1 m/s	1,4 m/s

Les méandres auraient une longueur de 500 à 700 m avec un rayon de courbure de l'ordre de 115 m.

Avec un tel dispositif, on espère préserver le stock de saumons, ce qui est un objectif particulièrement difficile à atteindre, les saumons ayant besoin d'un débit relativement important (on considère que les truites ont besoin d'un débit de 7 à 10 m<sup>3</sup>/s, alors que les saumons demandent 20 à 30 m<sup>3</sup>/s).

#### 4.3.2. Méthode du micro-habitat

Si l'on peut définir pour chaque espèce de poissons une courbe de préférence en fonction des paramètres hydrauliques du lit, on peut associer les études hydrauliques et les études biologiques. C'est l'objet des méthodes d'habitat préférentiel, telles que notamment :

- Instream flow incremental methodology (Bowie 1982)
- Water resources research institute method (Wesh 1976)
- U F S Region 6 method (Swank 1975)
- Habitat quality rating (Nickelsen 1976)

« **L'Instream flow incremental methodology** » (IFIM) ou les **méthodes du micro-habitat** comportent un modèle hydraulique permettant de connaître les caractéristiques de l'écoulement (Fig. 32 et 33).

Elles consistent à distinguer dans la rivière un certain nombre de tronçons présentant un faciès caractéristique.

On distingue, par exemple, les faciès suivants :

3.3 m/km. It receives salmon, brown trout and rainbow trout and is recognised for its importance as a source of fish. The mean flow rate is 349 m<sup>3</sup>/s. On the basis of detailed studies, the following compensation flow rates were recommended :

- basic flow rate : 40 m<sup>3</sup>/s,
- cleaning flow rate : 120 m<sup>3</sup>/s (every 2 to 3 weeks),
- annual flood flow rate : 400 m<sup>3</sup>/s.

It should be noted that the annual flood in the river is 800 m<sup>3</sup>/s, so that a special channel is required to discharge surplus flood water. In these conditions, the residual river has three stable channels with the following overall characteristics :

Flow rate	40 m <sup>3</sup> /s	120 m <sup>3</sup> /s	400 m <sup>3</sup> /s
Total width of channels	75 m	130 m	240 m
Average depth	0.60 m	0.84 m	1.20 m
Average speed	0.88 m/s	1.1 m/s	1.4 m/s

The meanders are 500 to 700 metres long with a curvature radius of the order of 115 m.

This system is intended to preserve the salmon stock, a particularly difficult task in view of the fact that salmon require a fairly high flow rate (trout are said to require a flow rate of 7 to 10 m<sup>3</sup>/s, while salmon require 20 to 30 m<sup>3</sup>/s).

#### 4.3.2. Micro-habitat method

If a preference curve can be established for each fish species according to the hydraulic parameters of the river, hydraulic studies and biological studies can be used in conjunction with one another. This is the aim of preferential habitat methods such as the following:

- Instream flow incremental methodology (Bowie 1982)
- Water resources research institute method (Wesh 1976)
- UFS Region 6 method (Swank 1975)
- Habitat quality rating (Nickelsen 1976)

The **instream flow incremental methodology** (IFIM) or the **micro-habitat methods** use a biological model to determine flow characteristics (Fig. 32 and 33).

The method involves identifying a number of sections in the river which are representative of a certain characteristic aspect.

For example, the following aspects can be distinguished :

<b>Faciès</b>	<b>Profondeur</b>	<b>Vitesse</b>	<b>Turbulence</b>
Trou d'eau :	fortes	très faibles	faibles
Cours plat	fortes au centre	fortes	faibles
Radier moyen	moyennes	moyennes	faibles
Radier varié	variables	variables	moyennes
Radier rapide	variables	fortes	moyennes
Cascade	très variables	très variables	très fortes

Chacun de ces tronçons est décomposé en éléments de volume où le modèle hydraulique permet de définir les caractéristiques suivantes : vitesse du courant (v), profondeur de l'eau (d), nature du substrat (s).

On a établi, d'autre part, des courbes de préférence de chaque espèce de poisson en fonction de ces paramètres, en distinguant les alevins et les adultes (Fig. 34).

Ces courbes ont généralement une forme en cloche qui fait apparaître un optimum pour une certaine valeur du paramètre v, d ou s. Elles sont graduées de 0 à 1 et donnent les indices de préférence  $S_v$ ,  $S_d$  et  $S_s$ .

Pour chaque volume élémentaire (i), on détermine l'indice de sélectivité d'habitat, comme le produit des indices de préférence :

$$S_i = S_v(v_i) \cdot S_d(d_i) \cdot S_s(s_i).$$

On additionne, ensuite, tous ces indices sur le tronçon de rivière concerné, ce qui donne l'aire pondérée utile (APU).

$$APU = \sum_0^n S_i a_i \quad (\text{où } a_i \text{ est la surface au plan d'eau de l'élément de volume})$$

$$\text{On définit aussi la « valeur d'habitat » : } VH = \frac{APU}{\sum a_i}$$

Le calcul est fait pour divers débits, ce qui permet de tracer la courbe APU (Q) qui dégage, en général, une valeur maximale pour un certain débit  $Q_0$ .

On divise, ensuite, cette aire pondérée utile par la valeur optimale. On obtient ainsi une surface pondérée normée utile comprise entre 0 et 1, variable avec le débit.

Le débit optimal  $Q_0$  ne définit pas pour autant le débit réservé souhaitable. En effet, l'étude de l'ensemble de la rivière dégage plusieurs valeurs de  $Q_0$  selon les faciès considérés, l'âge et l'espèce des poissons. L'appréciation du débit réservé souhaitable implique donc un choix entre ces diverses valeurs. Cette recherche pourra être facilitée par l'élaboration d'une carte des APU de chaque élément de surface étudiée sur l'ensemble de la rivière. On pourra, par exemple, rechercher le débit qui permet d'obtenir au moins 80 % de l'APU pour le maximum d'espèces. On pourra trouver un débit différent pour les adultes et pour les alevins, ce qui incitera à moduler le débit dans l'année en fonction du stade de développement des poissons.

Aspect	Depth	Speed	Turbulence
pool	very deep	very slow	little
flat running	deep in middle	fast	little
average invert	average	average	little
varied invert	variable	variable	average
fast invert	variable	fast	average
cascade	very variable	very variable	very strong

Each of the sections is divided into different volumes and the hydraulic model is used to determine the following characteristics: velocity of current (v), water depth (d), nature of substratum (s).

In addition, preference curves are drawn up for each species of fish according to these parameters, in which young fish are distinguished from adult fish (Fig. 34).

These curves are generally bell-shaped, which identifies an optimum for a certain value of the parameter v, d or s. They are graduated from 0 to 1 and give the preference indices  $S_v$ ,  $S_d$  and  $S_s$ .

The habitat selectivity index is determined for each constituent volume (i) as the product of the preference indices:

$$S_i = S_v (v_i) \cdot S_d (d_i) \cdot S_s (s_i).$$

Then, all the indices for the section of the river concerned are added together to obtain the weighted useful area (WUA).

$$WUA = \sum_0^n S_i a_i \text{ (where } a_i \text{ is the water surface area of the volume element concerned)}$$

$$\text{The "habitat value" is also defined : } VH = \frac{WUA}{\sum a_i}$$

Calculations are made for various discharges in order to plot the curve WUA (Q) which generally identifies a maximum value for a certain discharge  $Q_0$ .

Then the useful weighted surface area is divided by the optimum value to obtain a useful standardised weighted surface area between 0 and 1, depending on the flow rate.

The optimum discharge  $Q_0$ , however, does not define the desired compensation flow. The study of the river as a whole identifies several  $Q_0$  values according to the different aspects considered, and the age and species of fish. Assessment of the desired compensation flow therefore implies making a choice between these different values. This research could be facilitated by drawing up a map of the WUA of each area studied for the whole of the river. For example, a flow rate could be sought which could be used to obtain at least 80 % of the WUA for the maximum number of species. A different flow rate could be found for adult fish and young fish, which would require modulation of the flow rate during the year depending on the development stage of the fish.



Cette méthode a le mérite de compléter l'étude hydraulique par une étude biologique. Elle est toutefois très lourde et, en outre, elle n'est pas exempte de critiques. Notamment, les paramètres  $v$ ,  $d$  et  $s$ , ne sont pas indépendants et le produit des indices élémentaires est contestable. En outre, elle ne prend pas en compte certains paramètres comme la disponibilité de la nourriture et la compétition entre espèces. Elle ne prend en compte ni la rareté éventuelle des frayères qui peut introduire un facteur limitatif dans le recrutement d'une espèce, ni la variation de température qui peut provenir de la variation du débit. Elle définit une préférence mais ne permet pas d'évaluer la biomasse. Pour cela, il faut évaluer la relation entre l'APU et la population piscicole notamment en recensant les facteurs limitatifs évoqués ci-dessus.

Enfin, son utilisation n'est justifiée que si les courbes de préférence en fonction des paramètres  $v$ ,  $d$ ,  $s$  ont été solidement établies par une observation attentive des espèces de poissons considérées. Les courbes de préférence établies par Bowee aux USA sont notamment à élaborer pour d'autres rivières et d'autres espèces dans différents pays.

En France, cette méthode a fait l'objet de recherches et d'expérimentations par le CEMAGREF et EDF. Elle peut être considérée maintenant comme opérationnelle pour les rivières de première catégorie. Des études sont en cours pour étendre cette approche aux rivières de seconde catégorie.

En tout état de cause, la méthode du micro-habitat est la méthode actuellement la plus satisfaisante pour essayer d'apprécier l'effet de la variation de débit d'une rivière sur la faune piscicole.

#### 4.4. BIBLIOGRAPHIE/BIBLIOGRAPHY

- |    |   |   |
|----|---|---|
| 55 | ASSARIN 1996 - 4 pages  | Uses of Volga river flow for power generation and fishery purposes. Mitigation of conflict of interests - Institute Hydroproject - Russia   |
| 56 | CALHOUN 1996 - 14 pages   | Remarks at the workshop of shared water resources. ICOLD - 64th Annual Meeting. Santiago - Chile  |
| 57 | GRAYBILL, PALMER, JOWETT, RUTLEDGE, PIERCE, JAMES, GRAHAM, BLOOMBERG 1988 - 100 pages | Fisheries requirements and design features of a residual river within the proposed lower Waitaki power scheme - Electricity Corporation of New- Zealand   |
| 58 | HYDRO-QUÉBEC 88 pages   | Conséquences de la réduction des débits en aval d'un aménagement hydroélectrique ou d'une digue. Méthode d'analyse des débits réservés. Nécessité d'appliquer un débit réservé. Application au complexe Grande Baleine - Canada |
| 59 | 1991 - 25 pages   | Loi fédérale sur la protection des eaux - Suisse  |
| 60 | POUILLY, SOUCHON 1990 - 55 pages  | Schéma de vocation piscicole du fleuve Rhône. Tronçon court-circuité de Montélimar. Simulation des capacités d'habitat potentiel des poissons - CEMAGREF - France   |

The advantage of this method is that it complements the hydraulic study with a biological study. However, it is very cumbersome and, in addition, is not without weaknesses. In particular, the parameters  $v$ ,  $d$  and  $s$  are not independent and the product of the elementary indices is open to question. Moreover, this method does not take into account certain parameters, such as the availability of food and competition between species. It does not take into account either the scarcity of spawning areas that may introduce a recruitment limitation for some species, or the variation of temperature induced by the variation of flow. It defines a preference but cannot be used to assess the biomass. For this, the ratio between WUA and fish population must be evaluated in considering the limiting factors mentioned above.

Finally, its use can only be justified if the preference curves in terms of parameters  $v$ ,  $d$  and  $s$  have been soundly established by careful observation of the different species of fish considered. The preference curves established by Bowee in the USA can be developed for other rivers and other species in different countries.

In France, this method has recently been examined and used as the basis for experiments by the CEMAGREF and the French Electricity Board (EDF). It can now be considered operational for rivers in the first category. Studies are now under way with a view to extending this approach to second category rivers.

In any event, at the present time, this is the most satisfactory method for trying to estimate the effects of flow rate variations on fishlife.

- |    |   |   |
|----|---|---|
| 61 | RICHARD, CERDAN, SISSAKIAN,<br>CHABERT 1998 - 8 pages | Aménagement hydroélectrique de Petit Saut -<br>optimisation des procédures d'exploitation<br>pour préserver la rivière à l'aval de la retenue<br>- EDF - France   |
| 62 | SABATON, MIQUEL 1993 - 36 pages                       | La méthode des micro-habitats : un outil d'aide<br>au choix d'un débit réservé à l'aval des<br>ouvrages hydroélectriques. Expérience<br>d'EDF. - Hydro-écologie appliquée Tome 5 -<br>Volume 1 - France |
| 63 | SABATON, GOSSE, MIQUEL, GRAS<br>1993 - 12 pages       | Hydrobiologie et choix d'un débit réservé,<br>Expérience d'Electricité de France - EDF -<br>Direction des Etudes et Recherches - France   |
| 64 | SAVEY, COTTEREAU 1986 - 8 pages                       | Débit minimal à maintenir dans les cours d'eau. -<br>Exemple de débits réservés dans<br>l'aménagement du Haut-Rhône - SHF - XIX <sup>e</sup><br>Journées de l'Hydraulique - France                      |
| 65 | STUDLEY, BALDRIGE, RAILSBACK<br>1996 - 7 pages        | Predicting fish population response to instream<br>flows - Hydoreview, Sept. 1996 - Canada  |

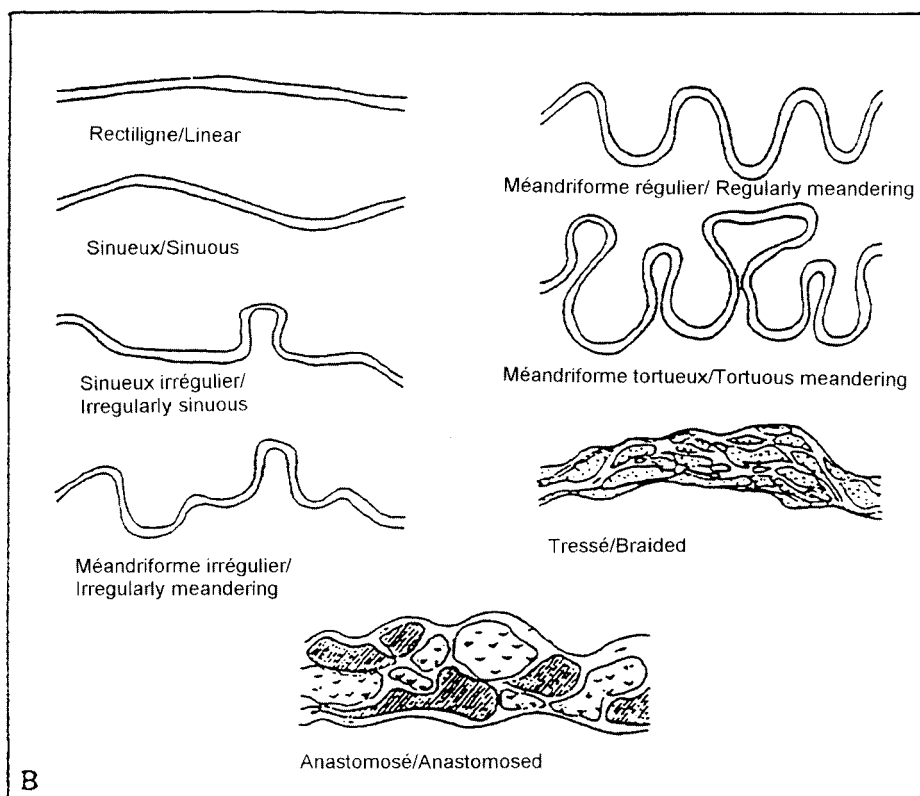


Fig. 30  
 Different types of river models  
*Les différents types de modèles fluviaux*

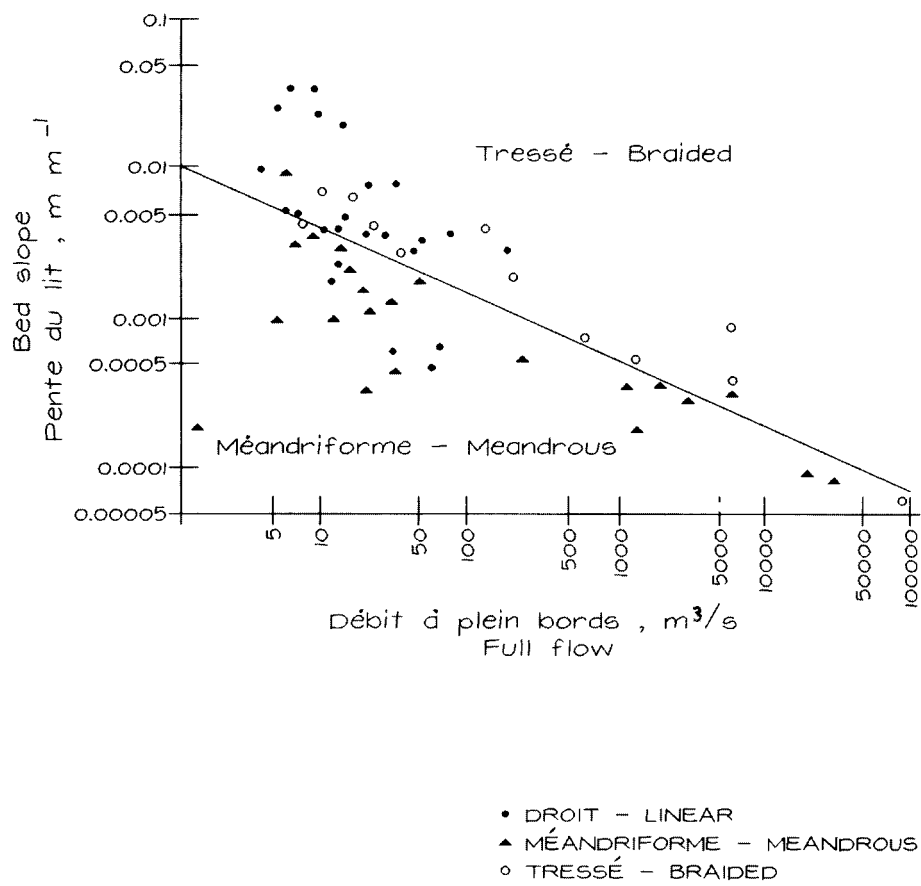


Fig. 31  
Influence of flow rate and slope on the type of river model (from Léopold and Wolman, 1957)  
*Influence du débit et de la pente sur le type de modèle fluvial (d'après Léopold et Wolman, 1957)*

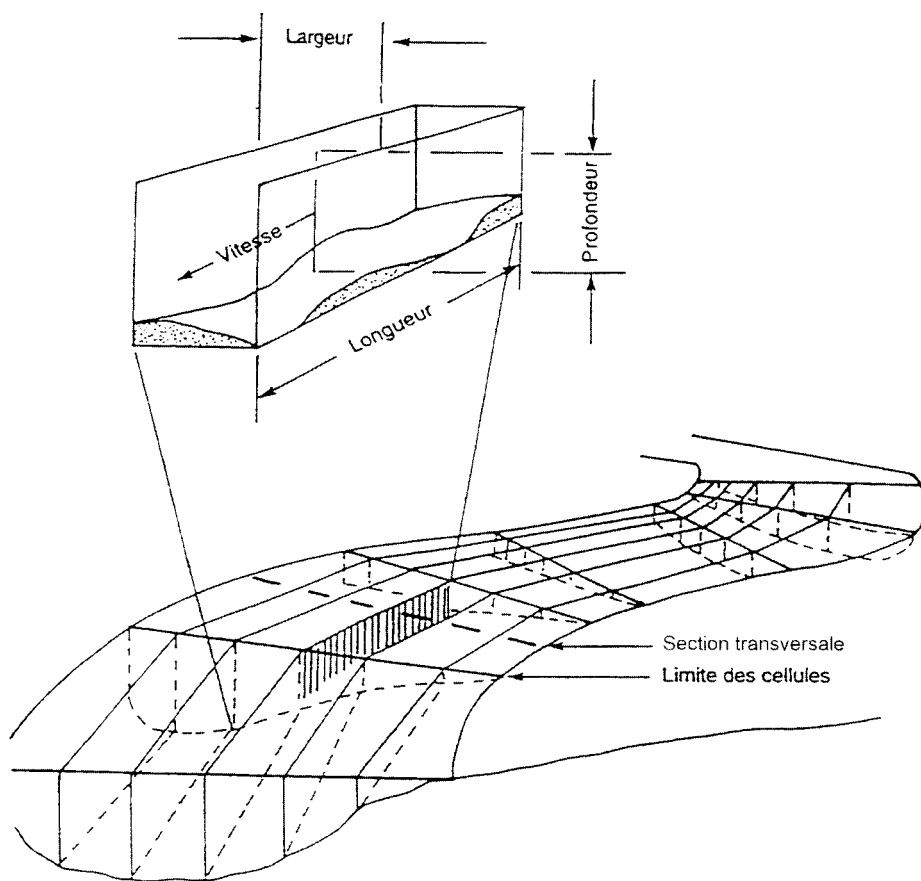


Fig. 32

Division of river for analysis according to micro-habitat method

*Découpage de la rivière en vue de l'application de la méthode du micro-habitat*

Width	<i>Largeur</i>
Depth	<i>Profondeur</i>
Length	<i>Longueur</i>
Velocity	<i>Vitesse</i>
Cross-section	<i>Section transversale</i>
Boundary of volume i	<i>Limite des cellules</i>

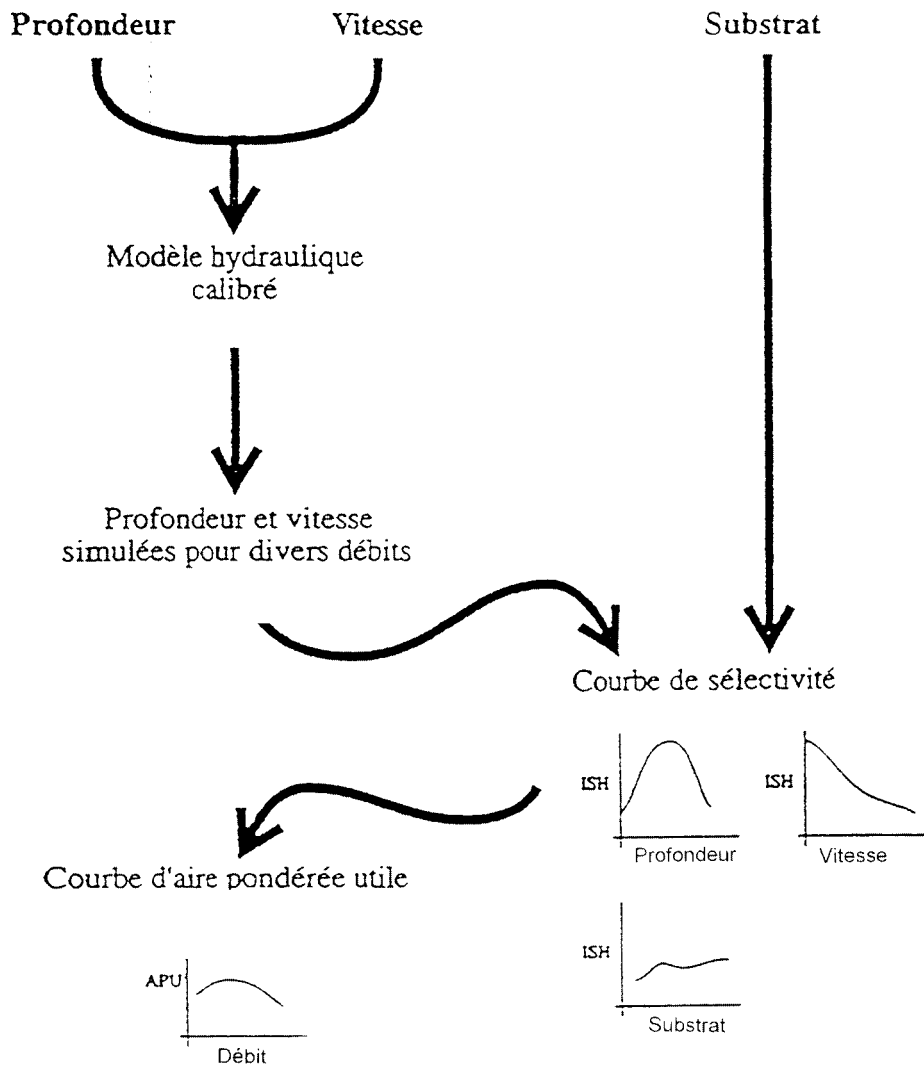


Fig. 33

Diagram of micro-habitat method process  
*Schéma du processus de la méthode du micro-habitat*

Depth	<i>Profondeur</i>
Velocity	<i>Vitesse</i>
Calibrated hydraulic model	<i>Modèle hydraulique calibré</i>
Calculation of depth and velocity for different flows	<i>Profondeur et vitesse simulées pour divers débits</i>
Substratum	<i>Substrat</i>
Habitat selectivity curve	<i>Courbe de sélectivité d'habitat</i>
HSI : Habitat selectivity index	<i>ISH : Indice de sélectivité d'habitat</i>
Weighted useful area curve	<i>Courbe d'aire pondérée utile</i>
WUA : Weighted useful area	<i>APU : Aire pondérée utile</i>
Flow	<i>Débit</i>

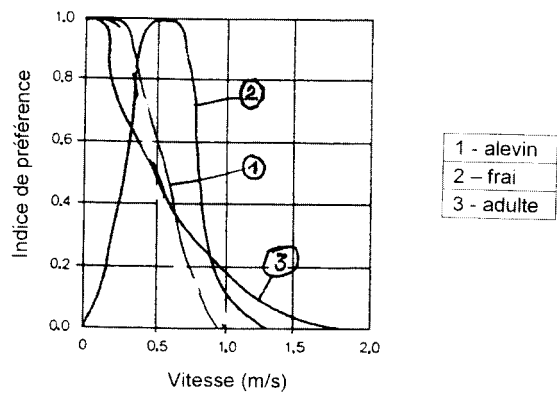
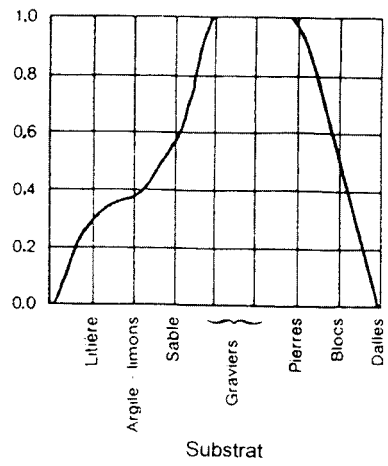
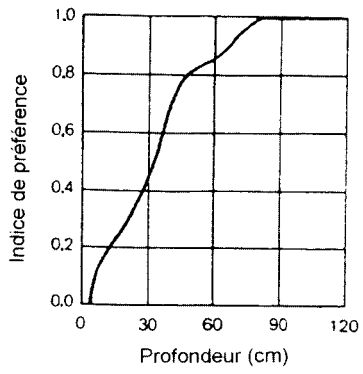


Fig. 34

Example of preference curves (from Bowee, EDF and CEMAGREF)  
*Exemple de courbes de préférence (selon Bowee, EDF et CEMAGREF)*

Preference index	<i>Indice de préférence</i>
Depth (cm)	<i>Profondeur (cm)</i>
Velocity (m/s)	<i>Vitesse (m/s)</i>
Litter	<i>Litière</i>
Clay-silt	<i>Argile-limons</i>
Sand	<i>Sable</i>
Gravels	<i>Graviers</i>
Cobbles	<i>Pierres</i>
Boulders	<i>Blocs</i>
Slabs	<i>Dalles</i>
1 Young fish	<i>1 Alevin</i>
2 Fry	<i>2 Frai</i>
3 Adult fish	<i>3 Adulte</i>



---

## 5. CONCLUSION

---

La conservation de la faune piscicole dans les rivières s'inscrit dans la politique d'aménagement durable à laquelle la Commission Internationale des Grands Barrages a adhéré.

En effet, la Charte CIGB sur les Barrages et l'Environnement (mai 1997) précise que :

*« Dans l'avenir, beaucoup de barrages seront à construire pour assurer la bonne gestion des ressources mondiales en eau, limitées, mal réparties, et dans bien des régions dramatiquement insuffisantes.*

*En contrepartie, nous sommes de plus en plus conscients de la nécessité absolue de protéger et préserver le milieu naturel qui est le fondement menacé de toute vie...*

*... Nous devons collaborer, de bonne foi, avec la fragilité ainsi que le dynamisme propres à la nature sans surcharger son pouvoir de récupération, son pouvoir d'adaptation à un équilibre qui, quoique nouveau, reste équivalent dans son caractère écologique... »*

Les constructeurs de barrages doivent donc se préoccuper de la faune piscicole. Ceci doit se faire en tenant compte de deux remarques générales importantes :

- La construction des barrages a été l'occasion d'importantes recherches dans le domaine de l'hydrologie et l'on dispose maintenant d'un vaste champ de connaissances concernant le régime des rivières. Il serait souhaitable d'encourager, de même, les recherches dans le domaine de l'ichtyologie afin de disposer d'une bonne connaissance de la faune piscicole, de ses besoins et de ses performances. Cette connaissance est, en effet, actuellement limitée à quelques espèces, et même pour celles-ci elle est incomplète.

- La prise en compte de la vie piscicole d'une rivière ne saurait être que globale. Il faut, en effet, considérer l'ensemble du cycle de vie des poissons : reproduction, nourriture, déplacements, lequel se déroule sur des tronçons importants de rivière, voire, lorsqu'il s'agit de migrateurs, sur l'ensemble de la rivière jusqu'à la mer. Il ne sert à rien, par exemple, d'aménager des échelles à poissons à un barrage s'il n'y a plus de frayères à l'amont ou si les modifications du régime des eaux empêchent les migrateurs de parvenir jusqu'à cette échelle. Il est donc souhaitable d'élaborer un projet piscicole de l'ensemble de chaque rivière, après une approche la plus «holistique» possible des conditions de vie des poissons et des usages de la rivière.

Les mesures à prendre en faveur de la vie piscicole se situent dans les deux domaines de l'investissement et de l'exploitation.

En matière d'investissements, il s'agit notamment des passes à poissons, des dispositifs de dévalaison, du traitement des rives des retenues, de la création de rivières artificielles ou de canaux de reproduction, de la constitution de retenues annexes et de zones humides, du calage des prises d'eau et de leurs grilles de protection, de l'aménagement de rivières résiduelles, etc.

---

## 5. CONCLUSION

---

The conservation of fishlife in rivers is a concern which is reflected in the policy of sustainable development adopted by the International Commission on Large Dams.

Indeed, the ICOLD Position Paper on Dams and Environment (May, 1997) specifies that :

*“ Still more dams will be needed in the future for the adequate management of the world’s limited, unevenly distributed and in many places acutely scarce water resources.*

*But more and more we also recognize an urgent need to protect and conserve our natural environment as the endangered basis of all life....*

*...We must cooperate conscientiously with nature’s inherent fragility as well as its dynamism without ever overtaxing its powers of regeneration, its ability to adapt to a new but ecologically equivalent equilibrium... ”*

Dam builders must thus pay special attention to fishlife, with particular reference to the following important general remarks:

- Dam construction has been associated with significant research activity in the field of hydrology and a vast amount of knowledge is now available on river flow conditions. Similarly, research should be encouraged in the field of ichthyology in order to obtain in depth knowledge of fish, their requirements and their performance. At the moment, such knowledge is limited to a few species, and even in these cases is incomplete.

- The fishlife in a river can only be considered from an overall point of view. It is essential to take into account the entire life cycle of the species concerned: reproduction, feeding, movement, with respect to important sections of the river and even, in the case of migrating fish, the entire river as far as the sea. There is no point, for example, in installing fish ladders at dam sites if there are no longer any spawning grounds upstream or if the regime of the river is such that the fish are unable to reach the ladder. It is thus preferable first to adopt a holistic approach concerning the living conditions of the fish and the use of the river and then develop a piscicultural project for the entire river in question.

Measures to promote fishlife will concern investment and operational aspects.

Investment projects will involve fish passes, devices to facilitate downstream migration, treatment of reservoir banks, creation of artificial rivers or spawning channels, creation of ancillary reservoirs and wet areas, development of residual rivers, etc.

En matière d'exploitation, il s'agit de l'élaboration des consignes appropriées de prises et de rejets d'eau (débit minimal, vitesse d'évolution du débit en cas d'éclusées énergétiques, lâchures de petites crues, dates et amplitudes des marnages des retenues), de l'entretien des ouvrages destinés aux poissons, de l'alevinage, de l'éducation des pêcheurs, etc.

Il convient, d'abord, d'acquérir une bonne connaissance de la faune piscicole qui fréquente la rivière, d'en faire un inventaire, de repérer les zones de frai, d'apprécier l'activité de pêche de loisirs et de pêche industrielle qui s'y sont installées, et enfin d'identifier les espèces importantes tant du point de vue de la pêche que de la préservation de la faune afin de définir les poissons cibles et d'approfondir la connaissance de leur mode de vie.

En ce qui concerne la retenue, il est souhaitable d'évaluer la qualité des eaux et son évolution après aménagement pour évaluer la population piscicole susceptible de la fréquenter avec succès, puis de mettre en place les différentes mesures adéquates tant en investissement qu'en exploitation. Un suivi de l'évolution de la retenue est nécessaire pour connaître les changements de qualité des eaux et adopter en conséquence des mesures appropriées en faveur de la faune piscicole ainsi qu'une réglementation de la pêche si nécessaire.

En ce qui concerne le franchissement des barrages (Fig. 35), le choix du mode de remontée doit s'inscrire dans la politique piscicole globale de la rivière et être également complété par un suivi qui permette d'en mesurer l'efficacité et d'apporter les corrections nécessaires. La prise en compte de la dévalaison des migrateurs est un élément indispensable de la conception des ouvrages de franchissement.

A l'aval du barrage, la recherche de la valeur du débit réservé est un problème complexe dans lequel le critère piscicole n'est pas le seul. Les récents progrès permettent d'éclairer le point de vue halieutique par la méthode des micro-habitats. Le niveau du débit réservé est susceptible, plus que les autres, d'influer sur l'économie globale de l'aménagement de la rivière. Enfin, il faut aussi se préoccuper d'une gestion fine de la protection contre les crues en prenant en considération l'impact des petites crues sur l'écosystème.

Toutes ces mesures ont un coût mais aussi un bénéfice, et le bilan peut être positif si l'on considère les avantages que la population riveraine peut tirer de la pêche et l'intérêt qu'il y a à conserver la biodiversité de la planète.

From the operational standpoint, measures include appropriate regulations concerning water intakes and outfalls (minimum flow rates, speed with which flow can change in the event of energy production flow releases, release of small floods, dates and extent of water level changes in reservoirs), maintenance of structures used by fish, fish stocking, education of fishermen, etc.

In the first instance, it is necessary to determine the fishlife in the river and make a list of the different species. The spawning areas must be identified and an assessment made of current recreational and industrial fishing activities, and finally those fish which are important commercially or in terms of conservation must be identified so that the target species can be determined and their lifestyle studied in greater detail.

As far as the reservoir is concerned, it is advisable to measure the quality of the water before and after the development scheme so as to determine which fish can live in the water successfully. Decisions can then be made concerning appropriate investments and operations. Changes in water quality must be monitored so that suitable steps can be taken to protect the fishlife and control fishing activities where necessary.

The choice of crossing structures (Fig. 35) for fish swimming upstream should fall within the general policy for the river in terms of fishlife and fishing activities. The efficiency of the structures installed should be monitored so that any problems can be rectified. The needs of fish which migrate downstream is an important factor to consider when designing crossing structures.

Downstream of the dam, determination of compensation flow is a complex problem which involves aspects other than simply fishlife. Recent progress using the micro-habitat method has helped shed more light on aspects concerning fish. It is the compensation flow, rather than the others, which is likely to influence the general economy of a river development scheme. Finally, flood protection schemes must be carefully managed, with due attention to the effects of small floods on the ecosystem.

All these measures have a price tag, but they also provide benefits, so that the balance can be positive if one looks at the advantages gained by riverside populations who can fish in the river and the more general interest of preserving the biodiversity of the planet.

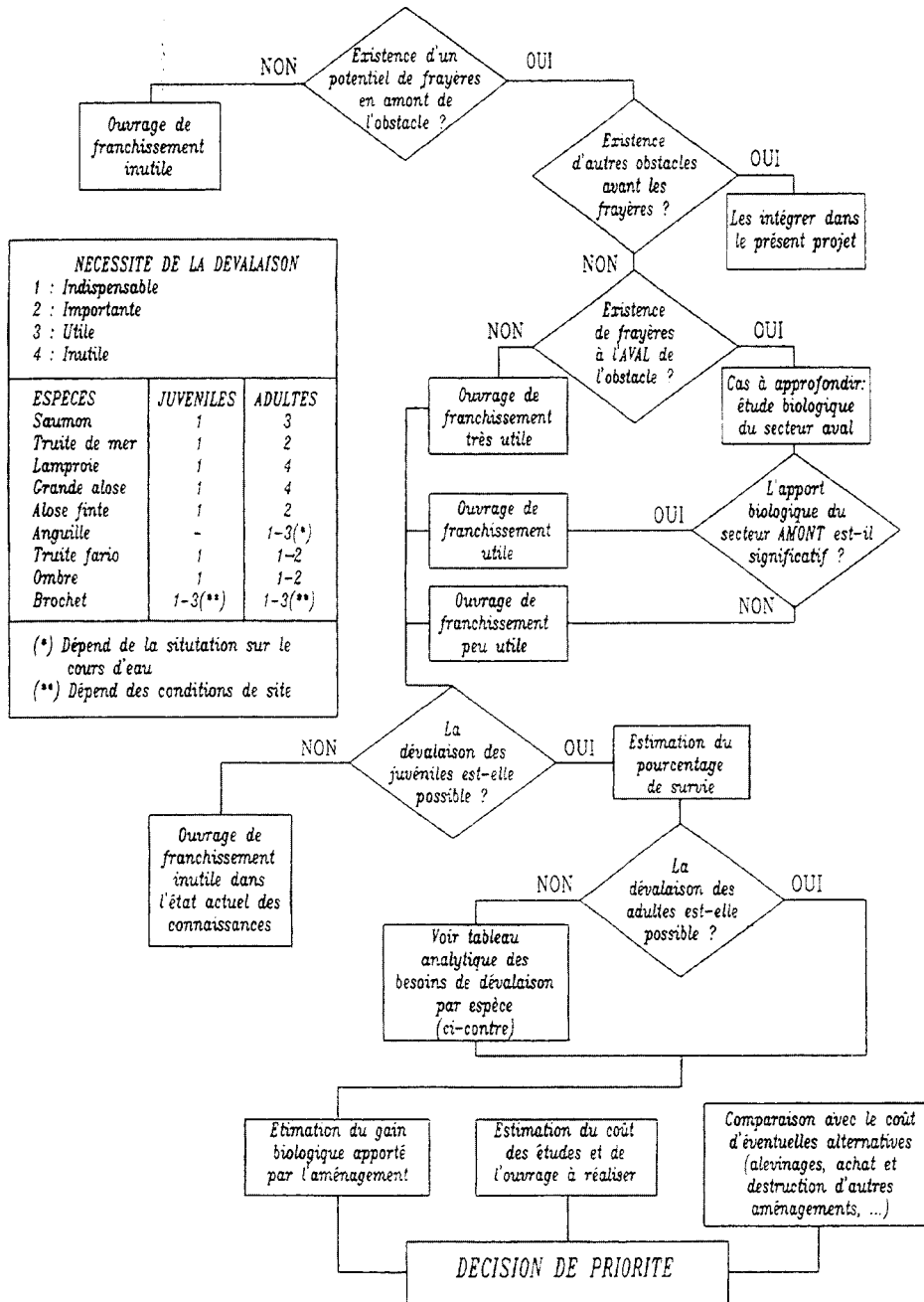


Fig. 35

Diagramme d'évaluation d'un aménagement pour restaurer la circulation des migrateurs (Porcher et Travade)

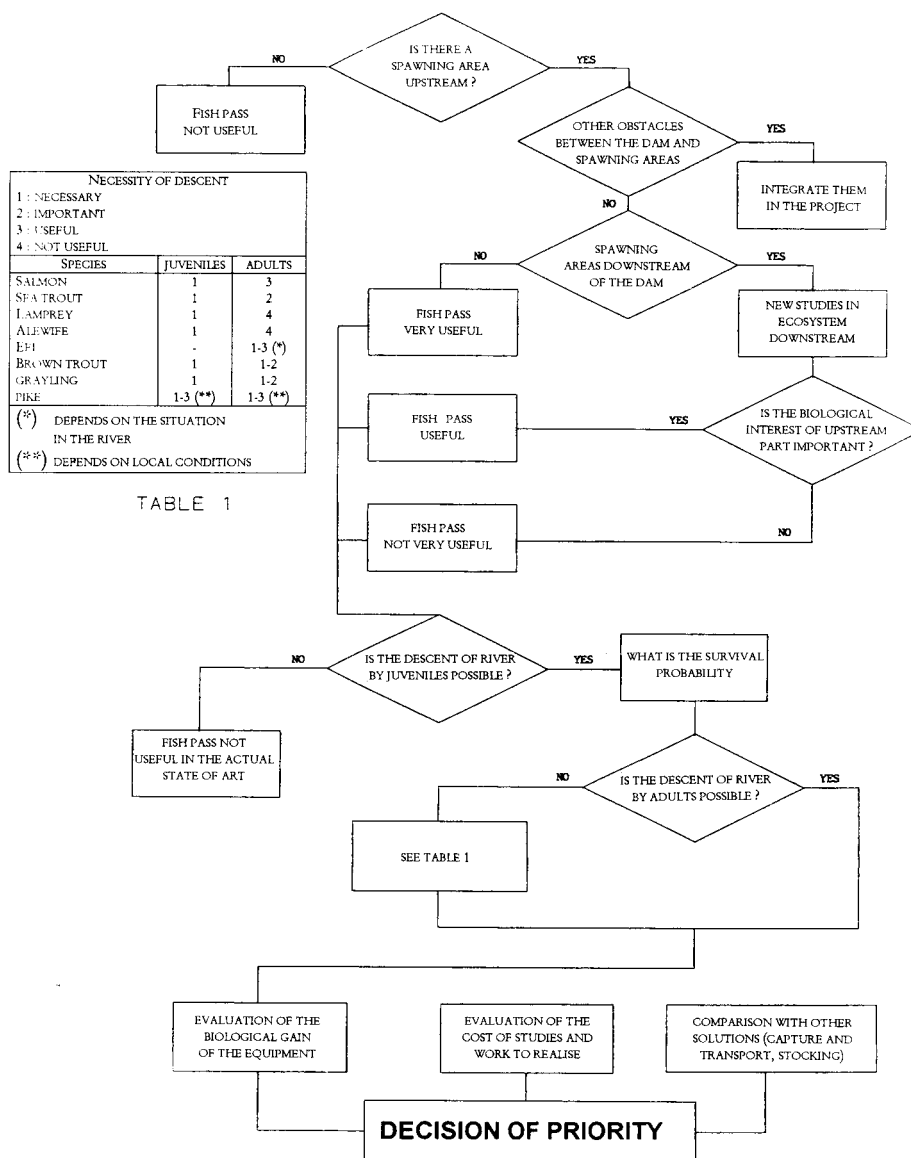


Fig. 35  
 Assessment of scheme to regenerate migrating fish - Method of evaluation  
 of an equipment (Porcher and Travade)

Imprimerie de Montlignon  
61400 La Chapelle Montlignon  
Dépôt légal : septembre 1999  
N° 19501  
ISSN 0534-8293

***Copyright © ICOLD - CIGB***

*Archives informatisées en ligne*  *Computerized Archives on line*

***The General Secretary / Le Secrétaire Général :  
André Bergeret - 2004***



---

**International Commission on Large Dams  
Commission Internationale des Grands Barrages  
151 Bd Haussmann -PARIS -75008**  
*<http://www.icold-cigb.net> ; <http://www.icold-cigb.org>*