



THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES

Étude de trois passes à poissons de la Meuse moyenne supérieure: La Plante, Tailfer et Rivière

Jardon, Armand-Pierre

Award date:
1988

Awarding institution:
Universite de Namur

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



FACULTÉS UNIVERSITAIRES N.D. DE LA PAIX
NAMUR
FACULTÉ DES SCIENCES

Etude de trois passes à poissons de
la Meuse moyenne supérieure :
La Plante, Tailfer et Rivière

Mémoire présenté pour l'obtention du grade
de Licencié en Sciences
biologiques
par

JARDON Armand-Pierre

1988

Errata

- Résumé: deuxième paragraphe, 5ème ligne: quatorze autres espèces
(au lieu de dix-sept)
- Summary: deuxième paragraphe, 5ème ligne: fourteen others species
(au lieu de seventeen)
- Table des matières: **4.2.4.** La mobilité des poissons pendant la nuit (au lieu de: la rapidité de la remontée pendant la nuit)
4.2.5. La mobilité des poissons pendant la journée (au lieu de: la rapidité de la remontée pendant la journée)
- Page 23: **2.1.2.3.2.** premier paragraphe, 9ème ligne: d'après LARINIER(1983b)
- Page 30: deuxième paragraphe, 5ème ligne: des vitesses de pointe (sans s à pointe)
- Page 41: deuxième paragraphe, 9ème ligne: quelle que soit l'échelle (au lieu de: quelque soit l'échelle)
- Page 52: 4ème ligne: écartement **des ralentisseurs** sur largeur de passe
- Page 56: dernier paragraphe, 4ème ligne: cheminée (sans accent)
- Page 70: dernier paragraphe, 2ème et 3ème ligne: ceux-ci (au lieu celui-ci)
- Page 90: Tableau 4: euryèce (au lieu de: ubiquiste)
- Page 126: dernier paragraphe, 4ème ligne: ... fournissaient la plus grosse partie du contingent (au lieu de: le gros contingent)
- Page 138: 14ème ligne: tirant
- Page 155: deuxième paragraphe, 5ème ligne: 1 point avant: "De même..."
- Page 161: **4.2.4.** La mobilité des poissons pendant la nuit (au lieu de: la rapidité de la remontée pendant la nuit)
1ère ligne de **4.2.4.**: Pour estimer quelle était la mobilité des poissons au crépuscule et durant la nuit
4.2.5. La mobilité des poissons pendant la journée
3ème ligne de **4.2.5.**: ... se rendre compte de la **mobilité des poissons** pendant la journée.
- Page 162: deuxième ligne et dernière colonne du tableau 21: + (au lieu de: -)
- Page 175: Tableau 29: évaluation de la mobilité (au lieu de: évaluation de la vitesse de remontée)

Addenda

Page 162:Tableau 21:les noms français sont repris au tableau 56 page 247

Page 167:ajouter à la légende:"entre ():nombre d'individus dans la partie inférieure"

Page 173:pour les chevesnes:"remontée simultanée pour 2 échelles:18 mai et 16 juin"

Page 174:Tableau 26:

TOTAL 1ère colonne:1 gardon

3ème colonne:5 gardons

4ème colonne:1 gardon

5ème colonne:2 gardons

6ème colonne:6 gardons, 1 perche

Page 230:dernier paragraphe, 1ère ligne:d'après **BLAXTER(1969)** et **WEBB(1975)**,les Salmonidés ont...

Page 232:après la fin du 2ème paragraphe:"Signalons que **TIMMERMANS** ne trouvait que de gros barbeaux lors de ces contrôles de l'échelle d'Ampsin-Neuville de 1963 à 1966."

Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix

Faculté des Sciences

rue de Bruxelles 61, B - 5000 NAMUR

Tél. 081/22.90.61 Télex 59222 Facman-b Téléfax 081-23.03.91

**Etude de trois passes à poissons de la Meuse moyenne supérieure:
La Plante, Tailfer et Rivière.**

JARDON Armand-Pierre

RESUME

La première partie de cet ouvrage est consacrée à une étude des différents types de passes à poissons (échelle DENIL, échelle à bassins, échelle à anguilles...) en tentant d'en dégager leurs avantages et leurs inconvénients.

La seconde partie est une étude du passage des poissons dans trois passes à bassins de la Meuse juste en amont de Namur (Belgique). Les barbeaux Barbus barbus (L. 1758), les chevesnes Leuciscus cephalus (L.1758), les vandoises Leuciscus leuciscus (L.1758), les gardons Rutilus rutilus (L.1758) et les truites de rivière Salmo trutta fario L.1758 sont des espèces qui remontent les passes sans difficulté apparente. Dix-sept autres espèces peuvent être trouvées en plus ou moins grand nombre mais les plus abondantes sont l'ablette Alburnus alburnus (L.1758), les gardons et les chevesnes. La vitesse de l'eau à l'entrée des échelles est insuffisante pour assurer une bonne attractivité.

SUMMARY

The first part of this book is a study of the different types of fishways (DENIL ladder, pool and weir fishways, eel ladder...) in an attempt to point out their advantages and their inconveniences.

The second part is a study of the passage of the fishes in three pool and weir fishways from the river Meuse just upstream from Namur (Belgium). Barbels Barbus barbus (L.1758), chubs Leuciscus cephalus (L.1758), daces Leuciscus leuciscus (L.1758), roaches Rutilus rutilus (L.1758) and trouts Salmo trutta fario L.1758 are some species that swim upstream through the passes without any apparent difficulties. Seventeen others species can be found in variable numbers but the most abundant are bleaks Alburnus alburnus (L.1758), roaches and chubs. The speed of the water flow at the entrance is insufficient to assure a good attractivity.

Mémoire de Licence en Sciences Biologiques

Septembre 1988

Laboratoire d'Ecologie des Eaux Douces

Promoteur: Prof. J.-C. MICHA

Je tiens à remercier ici tout ceux qui m'ont permis de pouvoir réaliser ce mémoire.

Je remercie d'abord Monsieur le Professeur J-C. MICHA qui m'a accueilli dans son laboratoire et a accepté de diriger mon travail.

Je remercie également Monsieur l'Ir A. GILLET pour son aide ainsi que pour ses conseils judicieux et ses critiques constructives.

Je tiens également à remercier les agents techniques du service de la pêche pour leur collaboration au travail de terrain, en particulier Monsieur V. PAQUAY dont le dévouement fut sans limite.

Un grand merci aussi à toutes les personnes qui ont accepté de me traduire des passages ardues de la littérature germanophone et néerlandophone, palliant ainsi à la faiblesse de ma connaissance des langues : je citerais particulièrement Messieurs Y. DENIS, R. HUBNER, W. KIRSCHFINK, F. KRAMER et L. VAN DAMME.

Je remercie également Monsieur l'Ir TIMMERMANS, du centre de recherches des eaux et forêts à Groenendael, grâce auquel j'ai pu consulter une abondante documentation concernant mon sujet.

Toute ma gratitude va également à tous les membres du laboratoire de l'UNECED, pour leur aide, l'intérêt qu'ils ont manifesté pour mon travail ainsi que pour l'atmosphère sympathique et détendue qu'ils ont contribué à maintenir toute l'année.

Enfin, un grand merci à Mesdames M-R. MARCHESI-JARDON et B. KRYSZCZAK-JARDON pour la dactylographie ainsi qu'aux amis et à la famille pour leur soutien moral.

TABLE DES MATIERES

ETUDE DES PASSES A POISSONS EN MEUSE MOYENNE SUPERIEURE

1. Introduction	1
2. Synthèse bibliographique	3
2.1. Les différents types de passes à poissons	3
2.1.1. Principes et définitions	3
2.1.1.1. Principe général	3
2.1.1.2. Définitions	3
2.1.2. Etude systématique et critique des différents types de passes	6
2.1.2.1. Les passes pour les petits obstacles	6
2.1.2.1.1. Les passes-lits	6
2.1.2.1.2. Les brèches	6
2.1.2.1.3. Les rigoles en entonnoir	6
2.1.2.1.4. Les passes en écharpe	8
2.1.2.1.5. Les pré-barrages et assimilés	8
2.1.2.2. La passe rustique et ses variantes	10
2.1.2.3. Les passes à bassins successifs	10
2.1.2.3.1. Les passes à cloisons déversantes	19
2.1.2.3.2. Les passes à orifices noyés	23
2.1.2.3.3. Les passes de type mixte	29
2.1.2.3.4. Les passes à fentes verticales	32
2.1.2.3.5. Les passes à orifices ou à échancrures disposées en chicanes	34
2.1.2.4. Les échelles à ralentisseurs ou DENIL	34
2.1.2.4.1. L'échelle PILI-PLAN	44
2.1.2.4.2. Les échelles de type PIRO	44
2.1.2.4.3. Les échelles PIRO-PLAN	44
2.1.2.4.4. Les échelles de type RIRO	44
2.1.2.4.5. Les échelles à ralentisseurs de type A	47
2.1.2.4.6. Les échelles de type PACHE	47
2.1.2.4.7. Les échelles de type LACHADENEDE	47
2.1.2.4.8. Les échelles à ralentisseurs latéraux	49
2.1.2.4.9. L'échelle DENIL simplifiée à ralentisseurs plans	49
2.1.2.4.10. Les passes à ralentisseurs de type FATOU	52
2.1.2.4.11. Les échelles PILI à ailerons latéraux	52
2.1.2.4.12. Les échelles CAMERE	54
2.1.2.4.13. Les passes avec des pierres ralentisseuses	54

2.1.2.5. L'écluse à poissons ou écluse BORLAND	54
2.1.2.6. Les écluses de navigation	59
2.1.2.7. La capture et le transport des migrateurs à l'amont d'un obstacle	61
2.1.2.7.1. Les ascenseurs à poissons	61
2.1.2.7.2. Le transport par camions	62
2.1.2.8. Les barrières à migrateurs	65
2.1.2.9. Les passes aménagées dans les ponceaux	65
2.1.2.10. Les passes à anguilles	65
2.1.2.10.1. La passe rustique aménagée	67
2.1.2.10.2. Les touffes de poils	67
2.1.2.10.3. La brosse à bouteille géante	67
2.1.2.10.4. Les écluses à poissons	69
2.1.2.10.5. Les rigoles	69
2.1.2.10.6. Les gros matelas de fagots	70
2.1.2.10.7. Les tapis de poils	70
2.1.2.10.8. Les tuyaux de PVC	70
2.2. Considérations pratiques concernant le choix d'un type de passe et les conditions d'implantations	71
2.2.1. La vitesse de l'eau et la hauteur des chutes successives	71
2.2.1.1. Influence des espèces	78
2.2.1.2. Influence de la taille	81
2.2.1.3. Influence de la teneur en gaz dissous et en sels	82
2.2.1.4. Influence de la température	82
2.2.1.5. Influence des facteurs biologiques	83
2.2.1.6. Rapport entre vitesse de pointe et hauteur de saut	83
2.2.1.7. Aspects bioénergétiques	87
2.2.2. La période de migration et son intensité	87
2.2.3. Le comportement de poisson	89
2.2.3.1. Le comportement de migration du poisson	89
2.2.3.2. Le comportement du poisson dans un bief et la rhéotaxie	91
2.2.3.3. Le comportement d'un poisson face à un obstacle	96
2.2.4. Le débit et les dimensions à consacrer à l'échelle	101
2.2.5. La position de l'entrée de la passe et ses caractéristiques	103
2.2.6. La composition du dispositif	106

conception

2.3. Comment étudier la remontée des poissons dans les passes ?	109
2.3.1. L'assèchement de la passe	109
2.3.2. Le procédé de circulation	109
2.3.3. La pose d'une nasse	109
2.3.4. Les échographes	109
2.3.5. Les cellules photoélectriques	109
2.3.6. Les mesures de conductivité	110
2.3.7. Les chambres d'observation	110
2.3.8. La photographie	110
2.3.9. Les dispositifs de piègeage	110
3. La situation en Meuse	111
3.1. Description générale	111
3.1.1. Géographie et topographie de la Meuse	111
3.1.2. Hydrologie de la Meuse	113
3.1.2.1. Le débit	113
3.1.2.2. La température	113
3.1.3. Physico-chimie de la Meuse	115
3.1.4. Description sommaire de la biocénose de la Meuse	116
3.1.5. L'atteinte de l'écosystème de la Meuse	117
3.1.5.1. La pollution par les rejets industriels	118
3.1.5.2. La pollution par les rejets d'eaux usées domestiques	119
3.1.5.3. L'eutrophisation	119
3.1.5.4. Les facteurs influençant la qualité de l'eau de la Meuse	120
3.1.5.5. Les conséquences de l'activité humaine sur la faune	121
3.1.5.6. Les différents facteurs susceptibles de nuire aux poissons	121
3.1.5.7. La restauration de la faune piscicole	122
3.2. Le problème de la normalisation du débit	123
3.2.1. La construction des barrages	123
3.2.2. Les échelles à poissons construites sur la Meuse	124
3.2.2.1. Bref historique des passes de la Meuse	124
3.2.3. Inventaire systématique des obstacles à la progres- sion des poissons dans la Meuse et des passes qui y sont construites	131
3.2.4. Etude plus détaillée des différentes passes de la Meuse	131
3.2.4.1. Les passes des barrages néerlandais	131

3.2.4.2.	La passe du barrage de Lixhe	131
3.2.4.3.	La passe du barrage d'Argenteau	132
3.2.4.4.	Les passes du barrage de Monsin	132
3.2.4.5.	Les passes du barrage d'Ivoz-Ramet	133
3.2.4.6.	Les passes du barrage d'Ampsin-Neuville	133
3.2.4.7.	Les passes d'Andenne et des Grands-Malades à Beez	134
3.2.4.8.	Les passes des barrages de la Meuse moyenne supérieure	134
3.2.4.9.	Conclusion sommaire de l'étude des passes de la Meuse	138
3.2.5.	Données concernant la remontée des poissons dans les passes de la Meuse	143
3.2.5.1.	Données concernant les passes à poissons de Lith	143
3.2.5.2.	Données concernant la passe à poissons de Belfeld	148
3.2.5.3.	Données concernant la passe à poissons de Linne	148
3.2.5.4.	Données concernant la passe à poissons de Lixhe	148
3.2.5.5.	Données concernant la passe à poissons de Monsin	150
3.2.5.6.	Données concernant la passe à poissons d'Ampsin	150
3.2.5.7.	Conclusions générales concernant ces données	153
3.3.	L'impact des obstacles aux migrations des poissons	155
4.	Matériel et méthodes	157
4.1.	Matériel	157
4.2.	Méthodes	158b
4.2.1.	Etude de ce qui se trouve dans les passes	158b
4.2.2.	Etude de la répartition des espèces dans les diffé- rentes parties des passes	160
4.2.3.	Etude du passage des poissons pendant le jour	161
4.2.4.	La rapidité de la remontée pendant la nuit	161
4.2.5.	La rapidité de la remontée pendant la journée	161
5.	Résultats	163
5.1.	Les espèces de poissons capturés	163
5.2.	Evolution du nombre de captures pour chaque espèce suivant la période	168
5.2.1.	Généralités	168
5.2.2.	Répartition dans les échelles suivant la période	172
5.3.	Evolution de la remontée	177
5.3.1.	Passage des poissons pendant la journée	177
5.3.2.	Mobilité dans les échelles pendant la nuit	177

5.3.3. Mobilité dans les échelles pendant le jour	177
5.4. Résultat des pêches de nuit	177
5.5. Répartition globale des espèces dans les différentes parties de l'échelle	182
5.6. La taille des poissons remontant les échelles	185
5.6.1. Généralités	185
5.6.2. Taille suivant les parties amont et aval de l'échelle	188
5.7. Sexe des poissons capturés	192
5.8. Données concernant les paramètres abiotiques	207
6. Discussion	211
6.1. Les espèces en présence	211
6.2. Evolution du nombre de captures pour chaque espèce suivant la période	216
6.3. Corrélations entre intensité de la remontée et paramètres abiotiques	223
6.4. Evolution de la remontée au cours d'un cycle journalier	225
6.5. Ce que l'on trouve dans les passes pendant la nuit	228
6.6. La remontée effective des poissons dans les échelles	228
6.7. La taille des poissons remontant les échelles et leurs vitesses de nage	229
6.7.1. La vitesse de nage en fonction de la longueur du poisson	229
6.7.2. Sélection de la taille d'aval en amont	233
6.8. Sexe des poissons capturés	233
6.8.1. Sex-ratio	233
6.8.2. Rapport entre la taille des poissons et le sexe	235
6.9. Discussion sur le choix d'un type de passe idéal pour la Meuse moyenne supérieur	237
6.9.1. Les passes à bassins de La Plante, Tailfer et Rivière	237
6.9.2. Autres dispositifs de franchissement possibles	241
7. Conclusion et perspectives	244
8. Bibliographie	248
Liste des figures	267
Liste des tableaux	274
Annexes	

1. INTRODUCTION

La Meuse est un fleuve à la faune et à la flore variées. Au début du 19ème siècle, cette richesse faunistique et floristique était bien plus élevée qu'elle ne l'est actuellement et si elle a diminué depuis lors, c'est pour des raisons principalement imputables à l'action de l'homme dont la pression sur l'environnement est toujours plus forte. Cette action s'exerce suivant différentes modalités. Cet ouvrage se présente comme une étude tentant d'aborder d'une manière non exhaustive, les différents aspects du problème particulier posé par les obstacles à la migration des poissons. En effet, ces entraves sont d'une importance non négligeable lorsqu'on sait qu'ils sont responsables de la disparition de la plupart des espèces de poissons migratrices amphibiotes que l'on pouvait trouver en Belgique et dans le bassin de la Meuse en particulier.

Nous allons donc étudier, d'une manière critique, et sur base de la littérature spécialisée, les différents types de passes à poissons afin de tenter de déterminer lequel serait le plus efficace pour la population à la fois cyprinicole et salmonicole de la Meuse. Nous vérifierons aussi si la conception des passes de La Plante, Tailfer et Rivière est compatible avec ces considérations théoriques. De la théorie, nous passerons à la pratique en vérifiant sur le terrain si la remontée des poissons dans ces trois passes se fait correctement et quelles espèces empruntent la passe. Nous tenterons aussi de voir quel est le comportement adopté par les poissons dans les passes et quelle est l'évolution de leur remontée au cours de la période étudiée (qui coïncide avec celle de la remontée maximale des poissons d'avril à juin).

Tout au long de ce mémoire, nous allons d'abord étudier les différents types de passes à poissons en nous efforçant de donner leurs caractéristiques techniques, leurs avantages et leurs inconvénients, nous aborderons ensuite les considérations pratiques concernant le choix d'un type de passe, nous tenterons enfin de situer l'état de la Meuse en ce qui concerne les obstacles à la migration, les connaissances que l'on a déjà récoltées à ce sujet et la

conception des passes de La Plante, Tailfer et Rivière. La seconde partie du mémoire, essentiellement expérimentale, concernera l'étude de la remontée des poissons dans ces trois passes, celles-ci étant choisies arbitrairement (l'étude de toutes les passes de la Meuse belge se révélant matériellement impossible). Nous nous efforcerons enfin de tirer des conclusions de l'ensemble du travail.

2. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1. Les différents types de passes à poissons

2.1.1. Principes et définitions

2.1.1.1. Le principe général :

Le principe général des passes à poissons consiste à ouvrir une voie d'eau qui permet au poisson de franchir l'obstacle en le contournant ou, plus rarement, en le traversant.

2.1.1.2. Définitions :

Le vocabulaire utilisé dans les articles spécialisés sur les passes à poissons ne trouve pas toujours un correspondant strict dans chacune des langues : nous allons nous efforcer de dresser ici une liste de définitions pour éclaircir cet aspect, cette classification est en partie empirique et basée sur la lecture des nombreux articles, ou sur des définitions données par AASERUDE (1985) et PELZ (1985),

Termes utilisés :

- anglais :
 - fishway
 - fish ladder (Amérique du Nord)
 - fish pass (Europe)
- allemand :
 - Fischpass
 - Fischtreppe
 - Fischweg
- français :
 - échelle à poissons
 - passe à poissons
 - dispositif de franchissement.

Définitions du général au particulier :

Fishway : terme général désignant tout passage naturel ou artificiel que le poisson négocie en nageant ou en sautant, que ce soit pour le remonter ou le descendre.

Fischweg : tous les équipements mettant en communication des tronçons d'eau séparés les uns des autres et qui rendent possible l'échange des poissons entre les parties.

Dispositifs de franchissement : pratiquement synonyme de Fischweg, il englobe également les systèmes de protection des poissons en dévalaison.

Fischpässen : installations dans lesquelles l'eau arrive de la partie supérieure à la partie inférieure d'un barrage, sans chute par gradins successifs, elles servent de préférence à faciliter la descente des poissons.

Passes à poissons : dispositifs permettant la remontée du poisson d'aval en amont.

Echelle à poissons: dispositif où l'eau est freinée ou divisée en chutes successives et permettant la remontée des poissons d'aval en amont.

Fish ladder = Fish pass = Fischtrepfen : échelles à poissons dans lesquelles l'eau coule à travers une rigole subdivisée en gradins formant plusieurs petites chutes du niveau supérieur vers l'inférieur, les bassins présents à chaque gradin assure une dissipation suffisante de l'énergie.

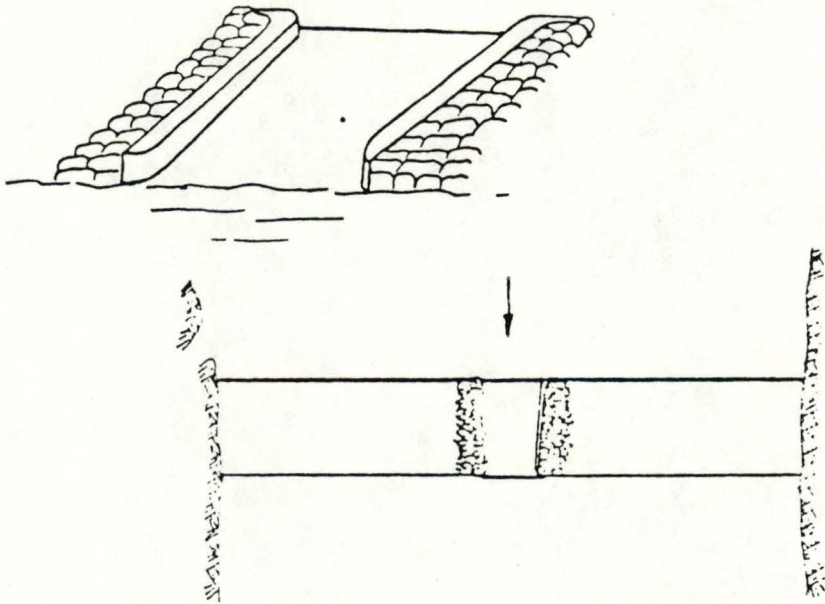


FIG 1. PASSE EN ENTONNOIR (d'après LARINIER, 1977)

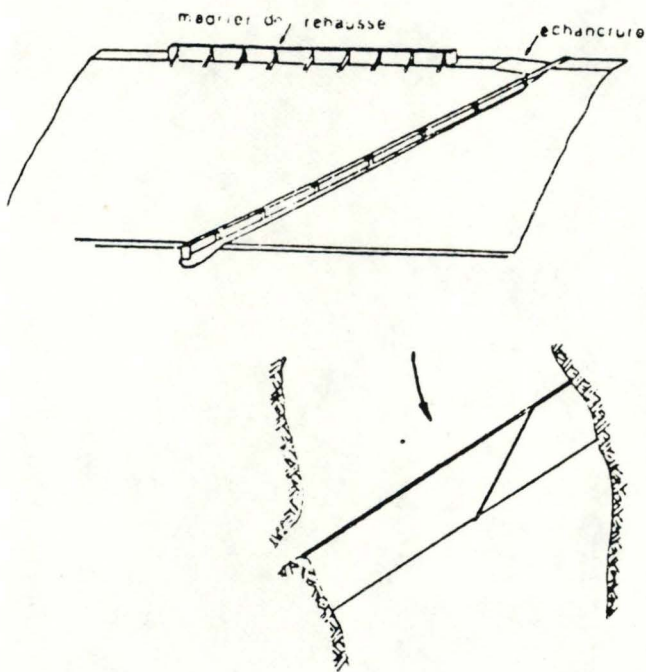


FIG 2. PASSE EN ECHARPE (d'après PRYCE-TANNATT in LARINIER, 1977)

2.1.2. Etude systématique et critique des différents types de passes

Il existe dans le monde une infinité de types de passe et il est impossible d'en dresser une liste vraiment exhaustive, chaque construction ayant par ailleurs presque toujours des caractéristiques particulières qui la différencient des autres. Il est toutefois possible de regrouper les passes en un certain nombre de catégories.

2.1.2.1. Les passes pour les petits obstacles

2.1.2.1.1. Les passes-lits :

Les premières passes utilisées au commencement du 19^{ème} siècle et qui étaient installées sur les petits barrages (constituant des obstacles peu importants) étaient des passes-lits servant à la fois au flottage du bois et à la remontée des migrateurs ; au fond de ces passes-lits on disposait, au moment de la remontée des poissons, des fagots disposés en chicane et maintenus par de lourdes pierres, qui ralentissaient la vitesse de l'eau .

(LACHADENEDE , 1931 ; VIBERT , 1948)

2.1.2.1.2. Les brèches

L'aménagement d'une brèche qui abaisse localement la hauteur de chute et assure à la lame d'eau une épaisseur suffisante pour permettre au poisson de nager dedans s'il y retombe après avoir sauté, permet le franchissement de petits obstacles à radier vertical. (LARINIER, 1977)

2.1.2.1.3. Les rigoles en entonnoir (Fig. 1)

Les rigoles en entonnoir taillées dans le radier incliné d'un obstacle d'une hauteur inférieure à 1,5 m - 2 m permet son franchissement par les migrateurs robustes (saumons, truites de mer...) grâce à l'épaississement de la lame d'eau qui s'écoule.

Pour ne pas épuiser le poisson, la longueur de la rigole sera limitée à 10 m . (LARINIER, 1977)

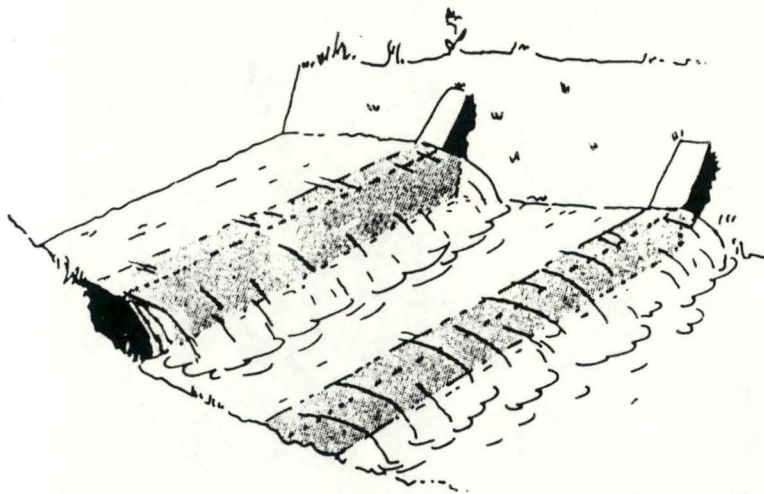


Fig. 3 : Prébarrage sur un petit cours d'eau (d'après JENS, 1982).

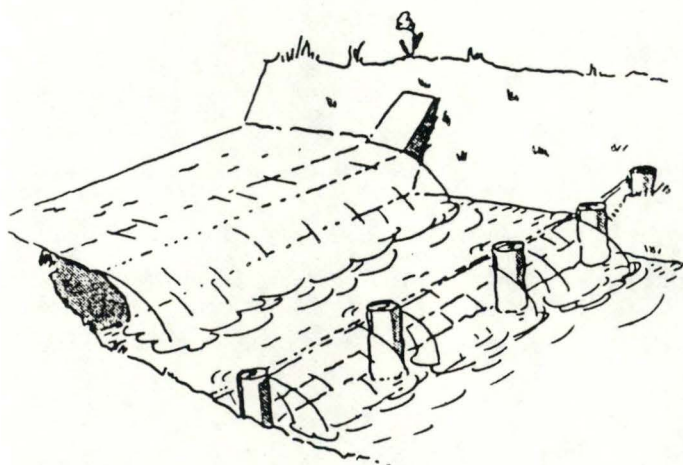


Fig. 4 : Petit prébarrage en bois rachetant une faible dénivellation (d'après JENS, 1982).

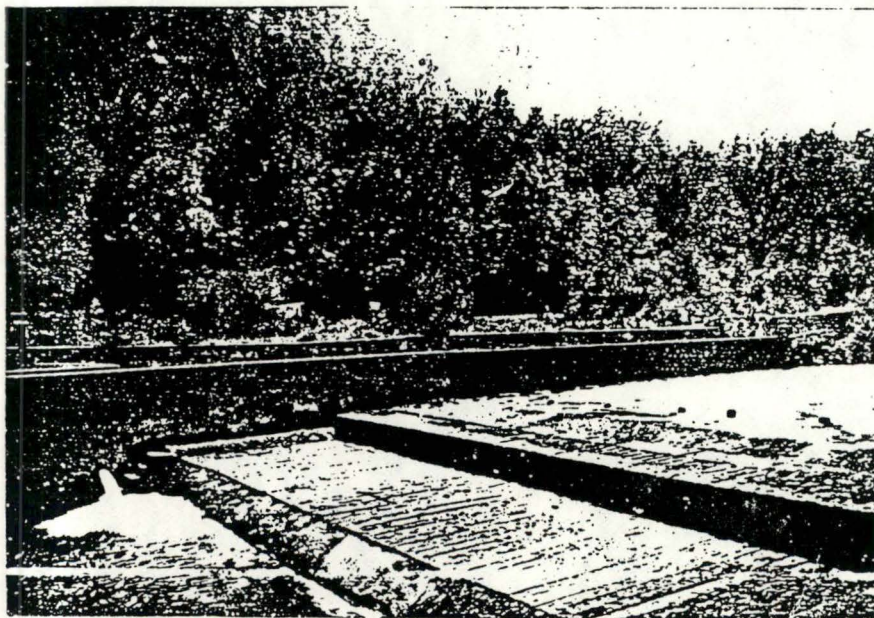


Fig. 5 : Prébarrage installé sur une grande rivière (d'après FRISCHHOLZ, 1924).

2.1.2.1.4. Les passes en écharpe

Les passes en écharpe (Fig. 2) ont le même effet et la même application que les rigoles en entonnoir, la longueur ne doit pas non plus être trop importante sous peine d'imposer un effort exagéré au migrateur qui doit la franchir d'une seule traite, d'après PRYCE-TANNAT (1937) 20 mètres est un maximum sauf si la pente est inférieure à 10 % .

Dans tous les cas, l'obstacle doit avoir une hauteur inférieure ou égale à 1 m - 1,5 m.

Les passes en écharpe ne seraient pas adéquates pour des migrateurs comme l'alose (LARINIER et TRIVELLADO, 1987)

Comme c'est également le cas pour les passes en entonnoir, les ruptures de pente (en particulier les profils concaves) peuvent bloquer les migrateurs et sont à éviter, ces 2 types de passes ne sont à adopter que lorsque la situation locale rend la construction d'un autre type impossible.

2.1.2.1.5. Les prébarrages et assimilés

On peut partager, par des prébarrages, la dénivellation d'un barrage d'une hauteur inférieure à 2-3 m en un grand nombre de biefs tels que la hauteur à vaincre ne soit jamais supérieure à 40 cm (JENS, 1982) , toute la rivière étant transformée en passe à poissons (Fig. 3,4 et 5) ; c'est une bonne solution car les prébarrages sont alimentés en eau proportionnellement au débit de la rivière, donc bien attractifs, et ils ne nécessitent que peu d'entretien (LARINIER, 1987).

Le partage de la dénivellation peut, à la rigueur, ne se faire que par un bief intermédiaire constitué d'un bassin rectangulaire en bois ou en béton d'une profondeur suffisante ou d'un anneau de béton (Fig. 6 et 7) mais l'étanchéité de ces systèmes est difficile à obtenir (JENS, 1982)

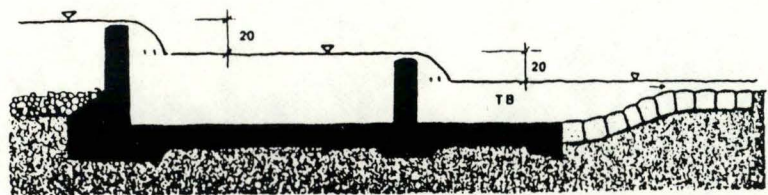


Fig. 6 : Bassin rectangulaire constituant un bief intermédiaire (d'après JENS, 1982).

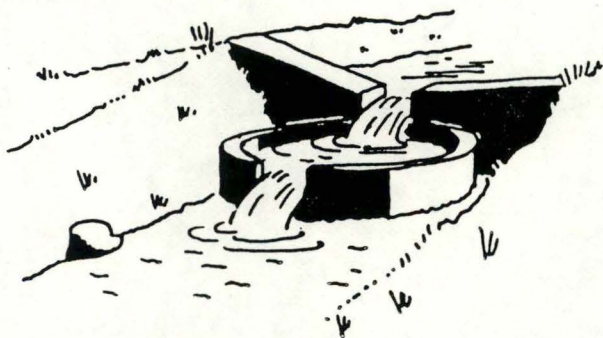


Fig. 7 : Anneau en béton partageant une dénivellation (d'après JENS, 1982).

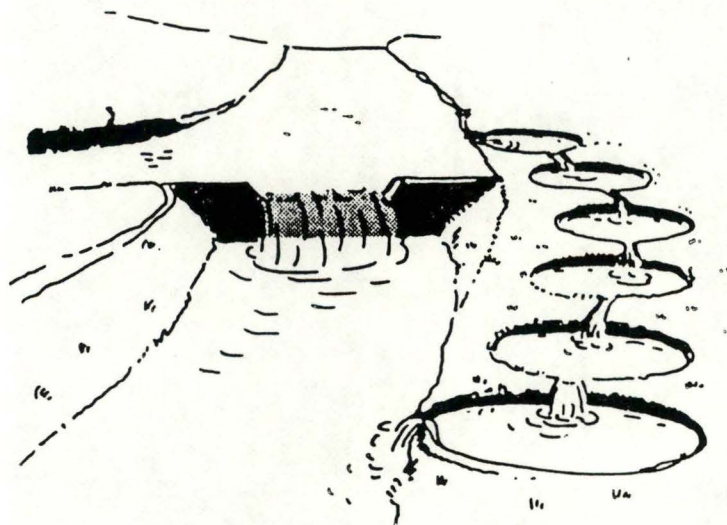


Fig. 8 : Conteneurs placés sur la rive servant de passe à poissons (d'après JENS, 1982).

2.1.2.2. La passe rustique et ses variantes

La passe dite rustique consiste à relier biefs amont et aval par un chenal à faible pente creusé dans l'une des rives et dont le fond et les parois sont garnis de rugosités ou d'obstacles imitant un ruisseau naturel (KREITMANN, 1931)

La passe rustique peut servir de passe à kayak, sa pente est si faible (5 %) qu'elle peut être remontée même par les jeunes anguilles, elle a l'avantage de la simplicité mais nécessite beaucoup d'espace et un gros débit (BACHELIER, 1968). Il en est de même pour les conteneurs en béton ou en plastic placés à côté du cours d'eau dans des trous creusés dans la rive et reliés entre eux par des petites cascades (Fig. 8) (JENS, 1982)

2.1.2.3. Les passes à bassins successifs ou à gradins ou en escaliers

Le principe de ces passes consiste à diviser la hauteur à franchir en plusieurs petites chutes qui forment une série de bassins communiquant entre eux par des échancrures (passes à cloisons déversantes), des orifices noyés, des fentes verticales (passes à chicanes) ou par les deux premiers cités simultanément (passes mixtes ou bâtardes). Les bassins assurent une zone de repos pour les poissons et une dissipation convenable de l'énergie de l'eau, il faudrait éventuellement construire des bassins de repos d'un volume double de celui des bassins normaux, à des intervalles de 8 à 10 bassins, si la passe comprend plus de 12 bassins (AITKEN et alii, 1966). Les bassins de repos sont obligatoires lors de tout changement de direction dans la passe. Ils doivent être particulièrement protégés des braconniers par des filets car les poissons aiment se rassembler dans ces zones de turbulence réduite où ils sont très visibles et faciles à capturer (MARTIN, 1984),

Les bassins ne doivent pas être sous-dimensionnés même par soucis d'économie, la détermination du volume V des bassins se faisant suivant le débit transitant Q et la différence de niveau entre deux bassins h (DENIL, 1936-1938 ; VIOLETTE, 1908). L'importance de ces deux critères sur le dimensionnement et leur relation avec lui varient suivant les auteurs (AITKEN, 1966 ; BELL, 1973 ; BONNYMANN, 1958 ; FULTON, 1952 ; KREITMANN, 1933 ; VIBERT et LAGLER, 1961).

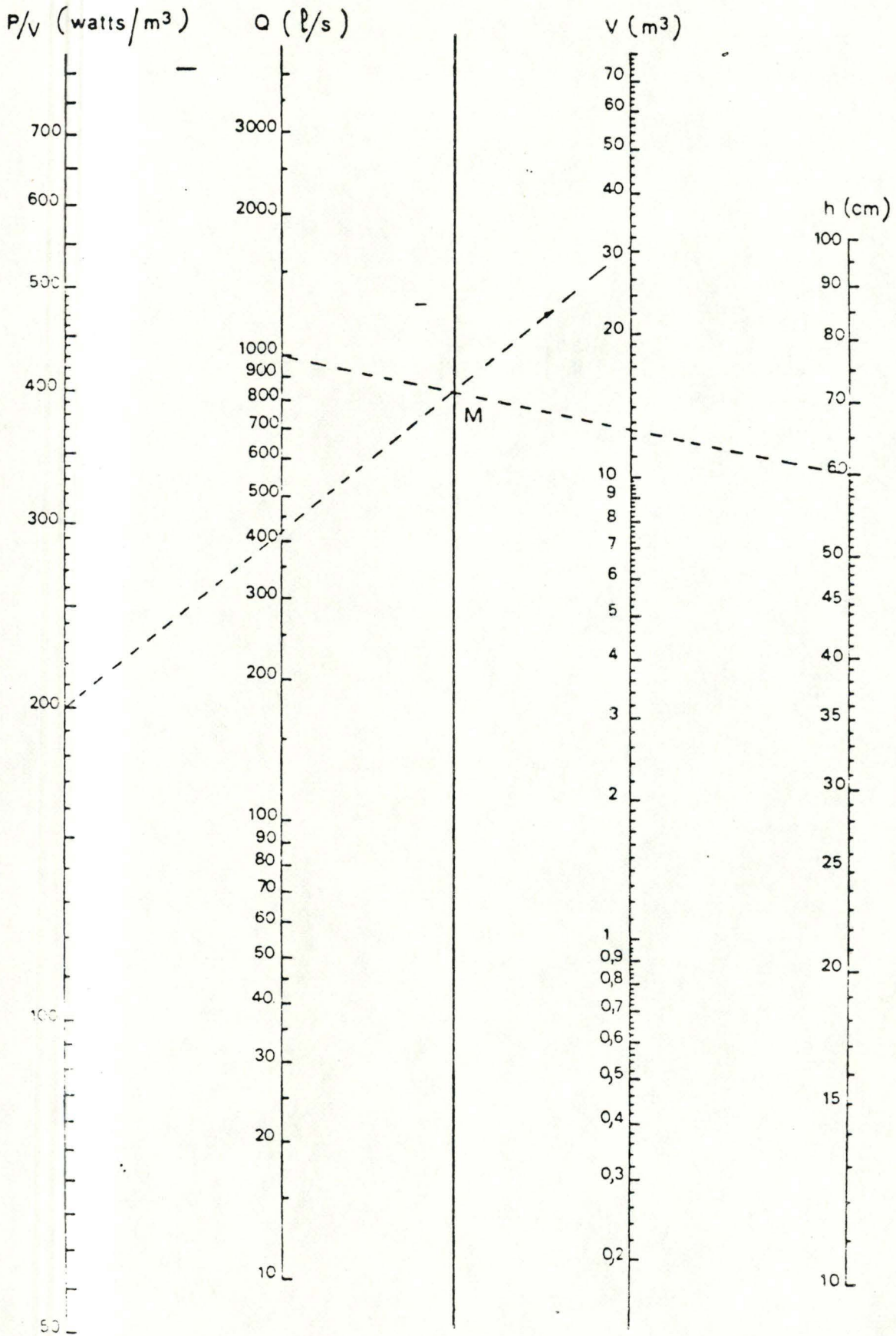


FIG. 9 Abaque de dimensionnement des passes à bassins (d'après LARINIER, 1977).

LARINIER (1977) a introduit un paramètre et une notion supplémentaire, la puissance dissipée, qui est une mesure de la dissipation de l'énergie par les bassins et s'exprime en watt/m^3 . Grâce à un abaque (Fig. 9), on peut calculer le volume du bassin pour une dénivellation entre bassins et un débit donnés de manière à maintenir cette puissance dissipée dans des limites comprises grosso-modo entre 140 et 210 watts/m^3 , des valeurs supérieures étant acceptables pour les Salmonidés et autres nageurs vigoureux. Pour un débit et une dénivellation entre bassins donnés, on trace une droite qui relie la 2ème et 5ème ligne de l'abaque au niveau des points qui correspondent aux valeurs auxquelles on a affaire, la 3ème ligne est ainsi coupée à un endroit **M** précis. En prolongeant la droite passant par le point **M** d'une part et le point de la 1ère ligne qui correspond à la valeur de puissance dissipée que l'on désire d'autre part, on coupe la 4ème ligne à un point indiquant la valeur du volume que l'on doit donner au bassin. Pour AITKEN et alii (1966), le volume du bassin doit avoir une capacité au moins équivalente à la quantité d'eau débitée pendant 30 secondes. La vitesse de l'eau ne doit pas dépasser 2,5 m/sec.

Une fois le volume utile fixé, on détermine la forme optimale des bassins suivant le mode de communication entre eux et la configuration et l'orientation des jets. Il convient d'éviter les phénomènes de "court-circuit", c'est-à-dire le passage direct d'un jet à forte vitesse d'un bassin au suivant sans dissipation d'une fraction suffisante de son énergie cinétique. Le jet ne doit pas heurter trop violemment les parois car cela peut perturber le comportement du migrateur, qui peut notamment avoir l'impression d'une chute et sauter hors de la passe (BELL, 1973 ; PENTLOW, 1961).

Les passes à bassins efficaces ont en général une longueur comprise entre 7 et 12 **d** (LARINIER, 1987), **d** étant :

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

En pratique cela représente une longueur comprise en général entre 2,5 et 3 m ; le tirant d'eau doit être compris entre 1 m et 1,2 m. Pour AITKEN et alii (1966), la longueur du bassin doit être au moins égale à 1,5 fois sa largeur pour assurer une dissipation suffisante de l'énergie.

La pente de ces échelles varie de moins de 7 % à plus de 20 % (LARINIER, 1977), mais d'après JENS (1981), l'inclinaison d'une passe à bassins ne devrait pas être supérieure à 10 %, elle dépend en fait de beaucoup de facteurs à considérer tels que la vitesse du courant, la hauteur de dénivellation de l'eau, les mensurations et la forme des bassins et de leur fond, la taille des trous de passage, l'intensité de la croissance des mousses, des algues et des mollusques ainsi que de la sédimentation ; les deux derniers facteurs étant dépendants de l'état d'entretien et du passage des eaux (PELZ, 1985).

Le nombre de bassins à construire doit résulter d'un compromis, entre le coût de construction (qui augmente avec le nombre de bassins) et la différence de niveau entre deux bassins (qui diminue avec l'augmentation du nombre de bassins) , qui détermine l'effort demandé aux poissons pour sauter (dans le cas des cloisons déversantes à jet plongeant) ou pour remonter le courant (dans le cas de passes à orifices noyés ou à cloisons déversantes avec jet de surface).

Les parois transversales des passes peuvent être amovibles ce qui permet de changer leur type et donc la forme de l'échelle sans devoir en reconstruire une autre (JENS, 1982). Les passes peuvent être aisément juxtaposées à des glissières pour canoë, on profite alors du fait que ces glissières ont une pente faible (5 %), passage et glissière doivent pouvoir fonctionner en même temps car la saison de fréquentation est la même pour les deux types d'utilisateurs. La passe doit être située du côté de la rive par rapport à la glissière à canoë. Le poisson est plus attiré par la glissière qui débite un courant plus fort mais il ne peut la franchir, c'est pourquoi la joue de séparation entre l'entrée de la glissière et l'entrée de la passe doit avoir un profil oblique pour permettre au poisson de changer d'entrée sans devoir revenir en arrière.

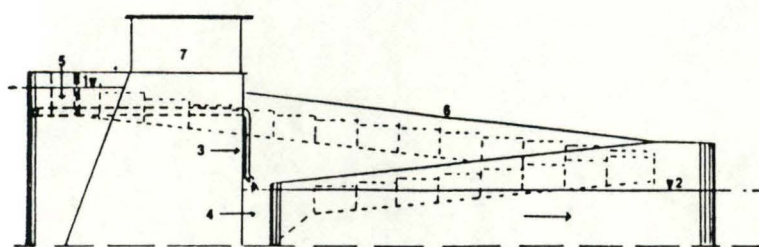


Fig. 10 : Passe à bassins installée en épingle à cheveux
(d'après JENS, 1982)

- 1. : niveau de l'eau dans le bief amont
- 2. : niveau de l'eau dans le bief aval
- 3. : eau qui déverse et qui constitue un appel pour le poisson
- 4. : entrée de la passe pour le poisson
- 5. : entrée de la passe pour l'eau
- 6. : seconde rampe de bassins de la passe
- 7. : barrage

Les échelles à bassins peuvent être très sinueuses, ce qui permet de placer l'entrée de la passe juste au pied du barrage et de développer les bassins en épingle à cheveux vers l'aval (Fig. 10). D'après JENS (1958), la position en épingle à cheveux ne peut pas remplacer la position optimale sur la berge.

Lors de variations de niveaux importantes entre les deux biefs, un dispositif spécial de contrôle des débits devient nécessaire comme par exemple une alimentation de la passe assurée par plusieurs ouvertures munies de vannes automatiques, situées à des niveaux différents et assurant la liaison entre le réservoir amont et les différents bassins de la passe, l'alimentation ne se faisant qu'à partir du bassin le plus en amont capable de recevoir de l'eau ; d'autres systèmes de contrôle existent (LARINIER, 1977). Dans une passe à bassins, le poisson ne fournit d'efforts qu'au passage sur une distance n'excédant pas quelques décimètres et il peut éviter les zones à vitesses maximales en profitant des décollements des lames d'eau, aussi ce type de passe est-il moins sélectif que la plupart des passes à ralentisseurs et elle constitue la meilleure solution dans le cas où on a affaire à plusieurs espèces migratrices (LARINIER, 1987).

Les échelles à bassins ne peuvent être réalisées que sur une rive, l'implantation de leur grande masse n'étant guère possible au milieu d'une rivière, tant au point de vue du prix de revient qu'au point de vue génie civil (BACHELIER, 1953a). Pour la même raison, ce type de passe peut difficilement être intégré dans le corps d'un ouvrage déjà existant. Il serait sujet à l'ensablement et lorsque la dénivellation est importante, le coût le devient aussi (LARINIER, 1987).

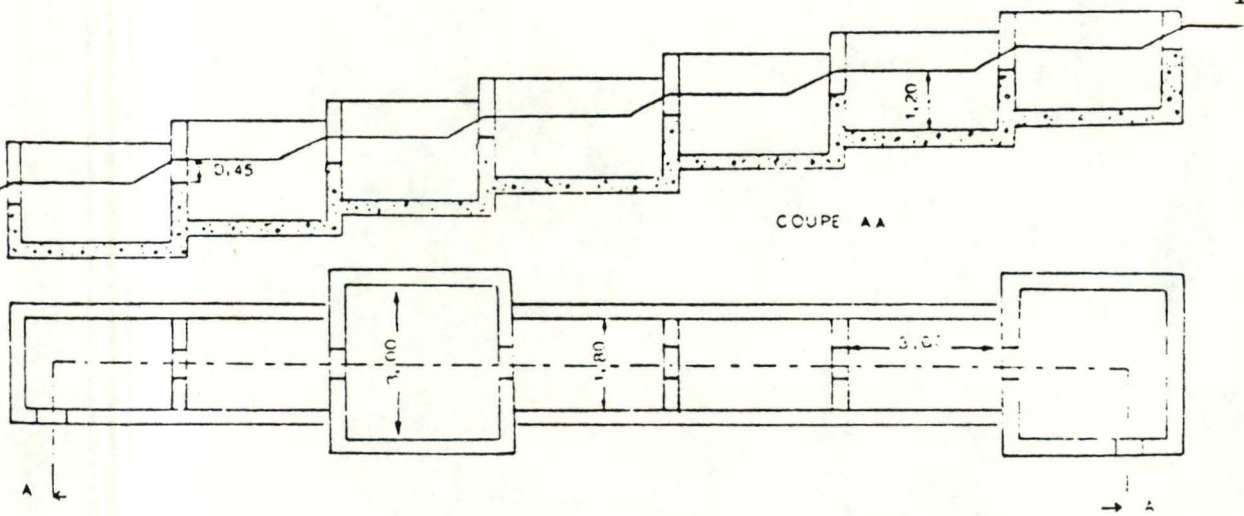


Fig. 11 : Passes à cloisons déversantes (d'après LARINIER, 1977)

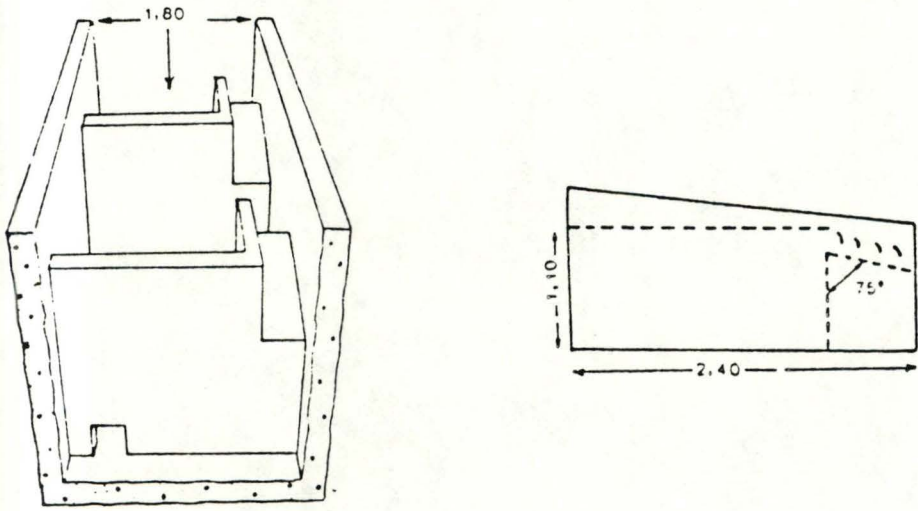


FIG 12 Passe à échancrure déversante en plan incliné utilisée sur la côte est des Etats-Unis (d'après DOMINY in LARINIER, 1977).

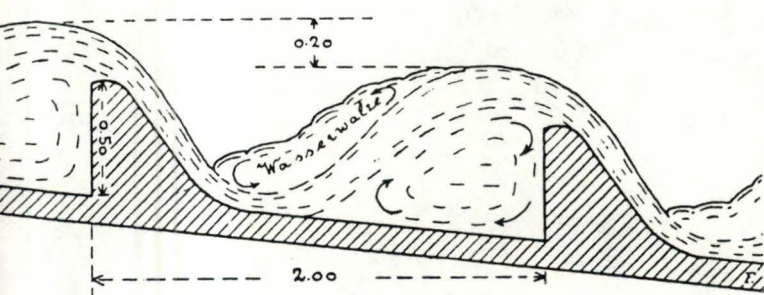


Fig. 13 : Profil des mouvements de l'eau dans un bassin à fond incliné et à cloisons transversales déversantes avec parement aval incliné (d'après FRISCHHOLTZ, 1924).

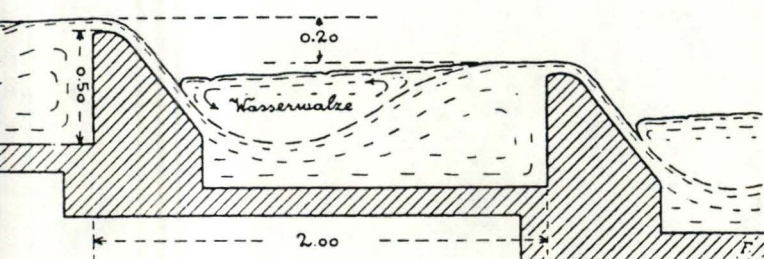


Fig. 14 : Profil des mouvements de l'eau dans un bassin à fond horizontal et à cloisons transversales déversantes avec parement aval incliné (d'après FRISCHHOLTZ, 1924).

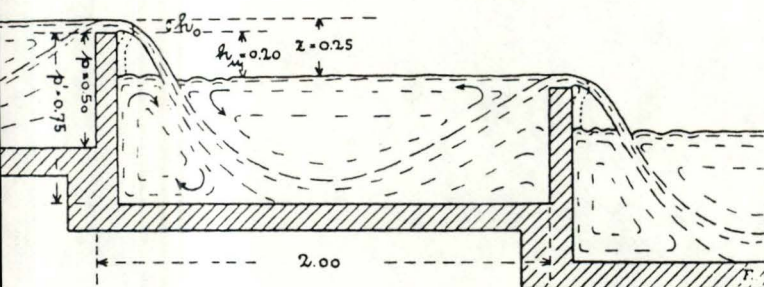


Fig. 15 : Profil des mouvements de l'eau dans un bassin à fond horizontal et à cloisons transversales déversantes avec parement aval vertical (d'après FRISCHHOLTZ, 1924).

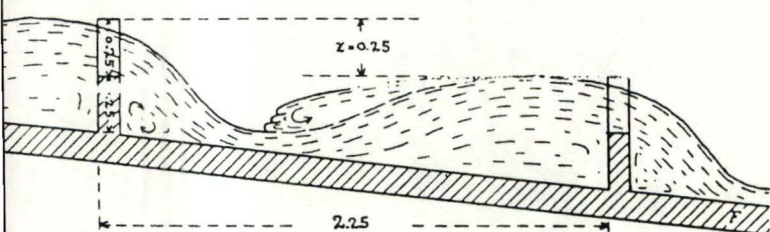


Fig. 16 : Profil des mouvements de l'eau dans un bassin à fond incliné et à cloisons transversales avec échancrure et parement aval vertical (d'après FRISCHHOLTZ, 1924).

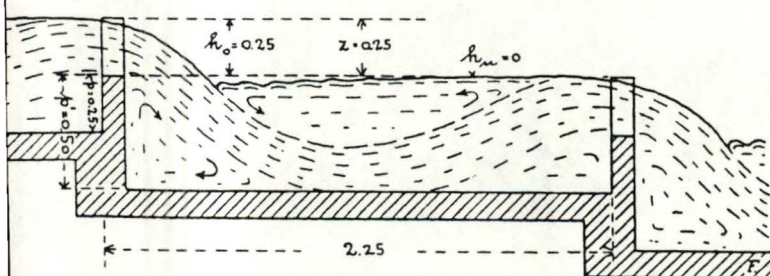
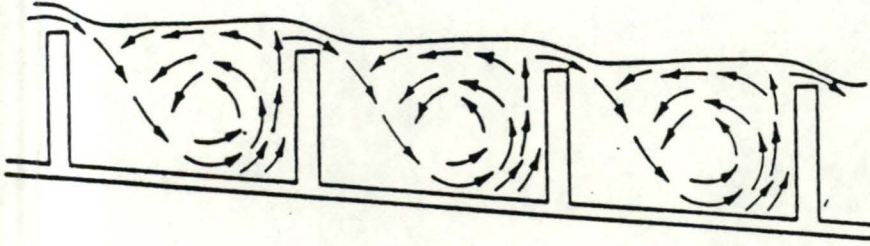
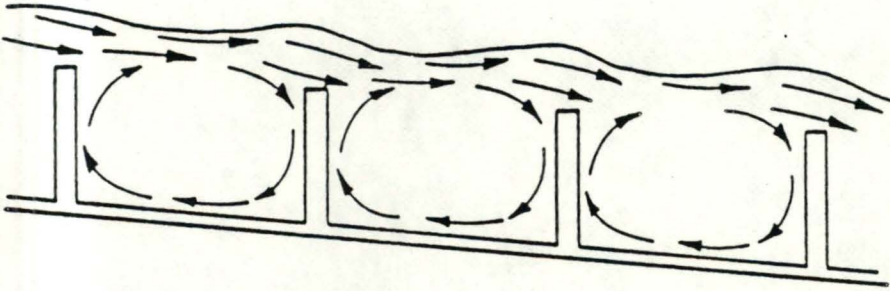


Fig. 17 : Profil des mouvements de l'eau dans un bassin à fond horizontal et à cloisons transversales avec échancrure et parement aval vertical (d'après FRISCHHOLTZ, 1924).



JET PLONGEANT



JET DE SURFACE

Fig. 18 : Profil du flux d'eau dans le cas d'un jet plongeant et d'un jet de surface (d'après CLAY, 1961 in RAJARATNAM et alii, 1987).

2.1.2.3.1. Les passes à poissons à cloisons déversantes (Fig. 11)

Généralement on concentre leur débit dans une échancrure pour obtenir une nappe déversante d'une épaisseur suffisante (environ 30 cm) pour que le poisson puisse y nager en retombant après le saut et qu'il ne se blesse pas au contact de la cloison ; la forme de l'échancrure importe peu mais sa largeur sera au moins de 50 cm pour les gros migrateurs, de 30 cm pour les autres poissons. (LARINIER, 1977)

La dénivellation entre deux bassins doit être d'environ 30 cm pour les truites et les saumons, de préférence égale à 15 cm pour les Cyprinidés qui sont de moins bons nageurs.

Les échancrures déversantes peuvent être en plan incliné (Fig. 12), elles assurent dans ce cas une bonne charge mais la puissance dissipée est relativement faible (DECKER, 1967 ; DOMINY, 1973).

Les seuils à parois minces assurent une dissipation convenable de l'énergie dans une zone plus restreinte mais ils présentent le désavantage d'augmenter l'entraînement d'air ce qui peut former à un certain point une "eau blanche" que les poissons répugnent à traverser. La forme des seuils et l'inclinaison du fond des bassins déterminent le profil des mouvements de l'eau à l'intérieur des bassins (Fig. 13 à 17).

Les passes à bassins à cloisons déversantes sont conseillées pour les poissons aimant sauter comme les Salmonidés (STUART, 1962) ; seuls les jets de surface (où le poisson peut passer d'un bassin à un autre en nageant dans la lame d'eau) permettent un bon passage des poissons blancs contrairement aux jets plongeants (où le poisson doit sauter dans la lame d'eau pour passer d'un bassin à l'autre) qui sont à éviter (LARINIER, 1987). Lorsque le jet est plongeant, le niveau de l'eau immédiatement en aval de la cloison est généralement en dessous de la crête de la cloison déversante ou de la crête de l'échancrure (lorsqu'il y en a une). Pour RAJARATNAM et alii (1987), le jet plongeant est préférable au jet de surface car ce dernier provoque un courant de surface ininterrompu, passant au-dessus des crêtes des déversoirs et se maintenant même entre deux cloisons en suivant un flux laminaire (Fig. 18)

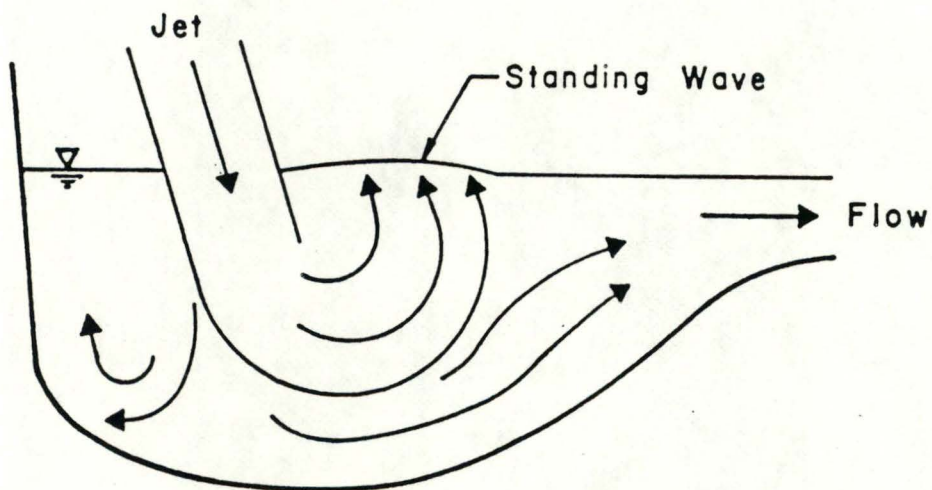


Fig. 19 : Vague constante formée par un jet plongeant et constituant vraisemblablement un stimulus de saut pour le poisson (d'après AASERUDE, 1985).

La vitesse de l'eau est alors trop importante pour le poisson, malgré le fait qu'il puisse se reposer dans la profondeur des bassins. RAJARATNAM en conclut qu'il faut tenir compte dans le dimensionnement des bassins du fait que la transition entre un jet plongeant et un jet de surface se fait, pour une passe donnée, lorsque le débit excède une certaine valeur et que cette valeur est d'autant plus grande que les bassins sont plus longs et que la pente est plus forte. Il propose même une relation mathématique pour déterminer le débit de transition entre jet plongeant et jet de surface :

$$Q = 0,25 \sqrt{g} b S_o L^{3/2}$$

- où - Q est le débit où a lieu la transition exprimé en m^3/sec .
 - g est l'accélération due à la pesanteur exprimé en m/sec^2 .
 - b est la largeur de la passe à poissons exprimé en m.
 - S_o est la pente exprimée en valeur absolue par la tangente de
 - L est la longueur du bassin en m. l'angle.

Cette relation n'est valable que si le déversement se fait sans être canalisé dans une échancrure.

Si le débit est supérieur à Q , le jet est de surface.

AASERUDE (1985) préfère également le jet plongeant car celui-ci provoque des courants de compensation verticaux qui poussent l'eau vers la surface, formant une vague constante (Fig. 19). Cette vague serait un stimulus de saut pour le poisson. La distance qui la sépare de l'obstacle serait déterminante pour le succès du saut. Cependant, il se pourrait que la correspondance entre l'endroit de la vague constante et celle du saut du poisson soit une pure coïncidence. AASERUDE (1985) fait également remarquer que le jet d'eau doit être tel que son énergie soit dissipée le plus près possible de son point d'entrée en surface.

D'après LARINIER (1987), les passes à bassins à cloisons déversantes sont capables de s'adapter à de nombreux cas de figure (de quelques dizaines de litres à plusieurs mètres cubes par seconde). Pour BEACH (1984), un débit de 130 l/sec. assure une pleine charge sur une échancrure de 60 cm de large et de 25 cm de profondeur pratiquée sur une cloison transversale de 30 cm d'épaisseur. Ce débit, pour des bassins de 3 m de long, 2 m de large et 1,2 m de profondeur (BEACH, 1984) assure une puissance dissipée de 80 watts/m³ si la dénivellation entre bassin est de 45 cm.

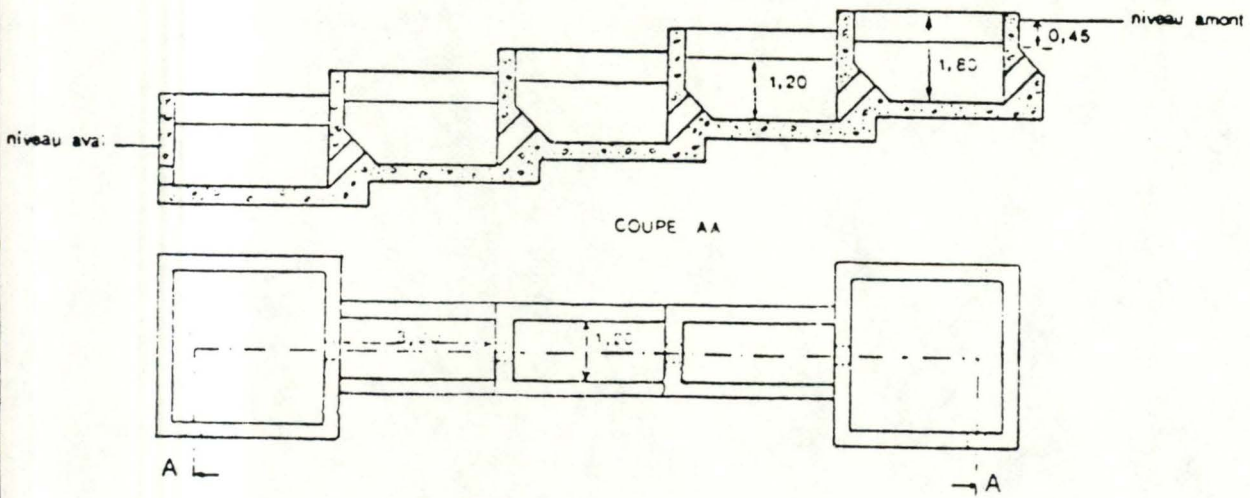


FIG 20 Passe à orifices noyés proposée par le COMMITTEE ON FISH PASSES (1942) in LARINIER (1977).

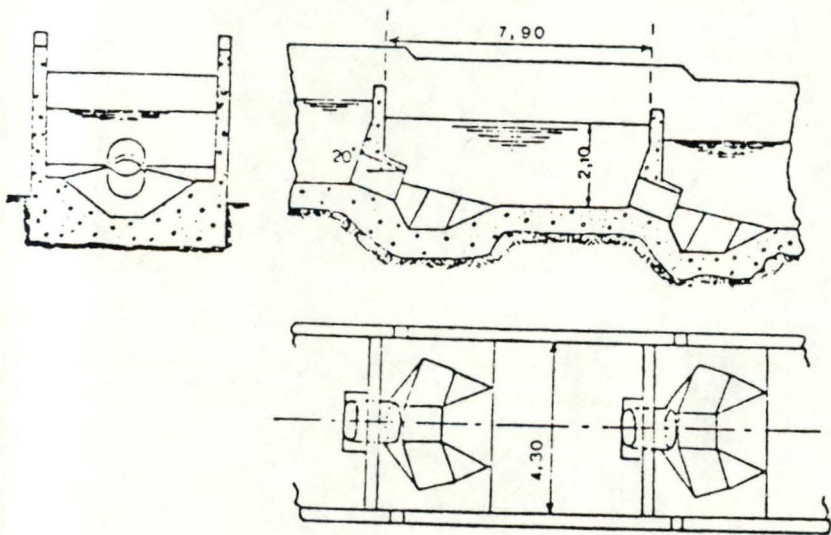


FIG 21 Passe à bassins du barrage de PITLOCHRY
 Detail des orifices
 (d'après LARINIER, 1977).

Si les niveaux amont et aval varient de façon identique, la différence de niveaux entre les deux bassins restera inchangée mais il y aura cependant une variation de la charge qui se traduira par un accroissement ou une diminution de débit, donc de la turbulence et de l'aération dans les bassins. (LARINIER, 1977). Lorsque seul le niveau amont augmente, débit et vitesse augmentent assez vite mais il est possible de conserver le débit constant en faisant varier la largeur de l'échancrure ou la cote de la crête de déversement notamment par l'ajout de planches dans l'échancrure lorsque ce système est possible. Ce dernier changement peut entraîner une trop grande différence de niveau entre le premier bassin et la retenue amont (LARINIER, 1977 ; SCHWALME et alii, 1985). Lorsque le niveau aval augmente, le débit restera constant mais il y aura submersion éventuelle des bassins à l'entrée de la passe.

2.1.2.3.2. Les passes à orifices noyés (Fig. 20 et 21)

La dimension des orifices est fonction du débit de fonctionnement adopté pour la passe, de la différence de charge entre les bassins et des espèces de poissons l'empruntant ; elle diffère suivant les auteurs (BONNYMAN, 1958 ; COMMITTEE ON FISH PASSES, 1942 ; GORDON et alii, 1960 ; U.S. CORPS of ENGINEERS in BELL, 1973). On peut admettre un minimum de $0,15 \text{ m}^2$ pour les salmonicoles et de $0,05 \text{ m}^2$ pour les poissons blancs, les dimensions recommandées par JENS (1982) sont de 0,30 m de haut et 0,25 m de large ; d'après LARINIER (1983), il semble que même $0,10 \text{ m}^2$ soit une surface insuffisante pour certaines espèces de poissons comme le brochet Esox lucius Linné 1758.

La dénivellation à adopter entre deux bassins est la même que pour les passes à cloisons déversantes.

Les orifices sont des ouvertures pratiquées dans les cloisons transversales de la passe ou de simples ajutages suffisamment inclinés pour dissiper l'énergie mais pas trop pour ne pas empêcher le poisson de trouver l'entrée. (LARINIER, 1977)

L'inclinaison à donner à l'ajutage varie suivant les auteurs de 36 % (BONNYMAN, 1958) à 100 % (COMITTEE ON FISH PASSES, 1942).

Les orifices sont généralement alternés en plan, d'une cloison à l'autre, par rapport à l'axe de l'ouvrage.

La vitesse de l'eau sortant de l'orifice est estimée par $v = \sqrt{2gh}$

où :

- h est la différence de niveau entre deux bassins en mètre
- v est la vitesse de l'eau à la sortie de l'orifice en mètre/seconde
- g est l'accélération due à la gravité en mètre/seconde²

Les passes à orifices empêchent l'entraînement d'air et permettent aux migrateurs de franchir plus aisément les obstacles en nageant, ce qu'ils préfèrent au saut (KREITMANN, 1931), ceci est toutefois contesté pour certaines espèces comme le saumon (STUART, 1962) ; les aloses éprouveraient une certaine répugnance à franchir les orifices noyés situés en trop grande profondeur. Il faut que les passes soient bien dimensionnées et attractives. LARINIER (1987) pense qu'elles présentent peu d'intérêt ; il est cependant indéniable qu'elles sont très indiquées si les niveaux amont et aval varient de manière identique car la différence de niveau de part et d'autre des orifices ne variant pas, le débit restera le même, la marge de fonctionnement étant seulement limitée par la hauteur des cloisons transversales ; lorsque seul le niveau amont augmente, débit et vitesse augmente mais moins vite que pour une passe à cloisons déversantes, le débit sera maintenu constant par une variation des dimensions de l'orifice d'entrée.

En effet comme $v = \sqrt{2gh}$ et $Q = Sv$

où :

- v est la vitesse de l'eau à la sortie de l'orifice en m/sec.
- h est la différence de niveau entre deux bassins en m.
- Q est le débit en m³/sec.
- S est la section de l'orifice en m².
- g est l'accélération par la force de la pesanteur en m/sec².

Si le niveau amont augmente, h augmente et donc v et Q augmentent. Pour ramener Q à une valeur moindre (afin de rester dans des limites acceptables pour les valeurs de puissance dissipée), on peut diminuer S .

d)

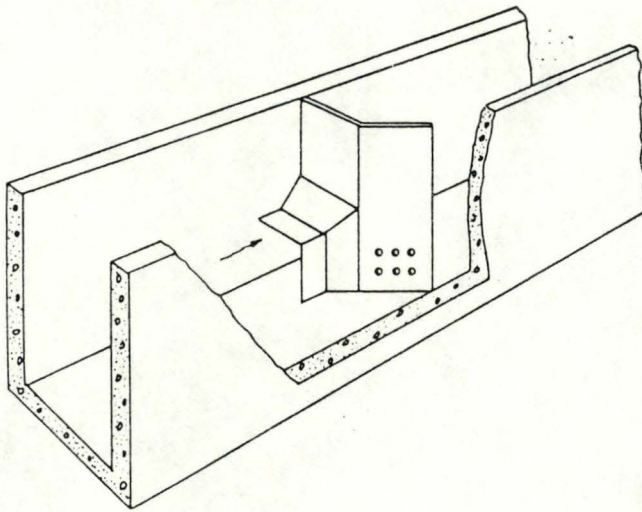
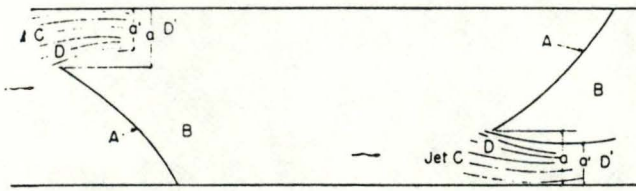


Fig. 22 : Passe à orifices à la Borda
(d'après MICHEL et NADEAU, 1965).

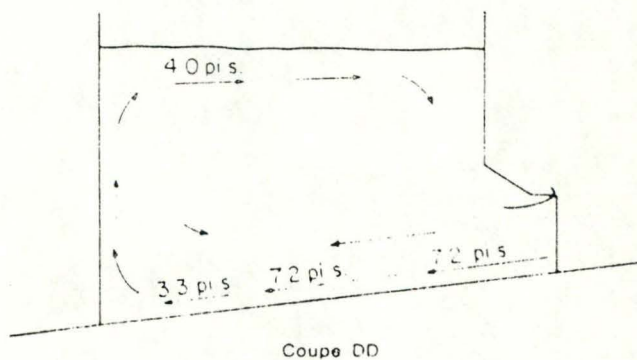
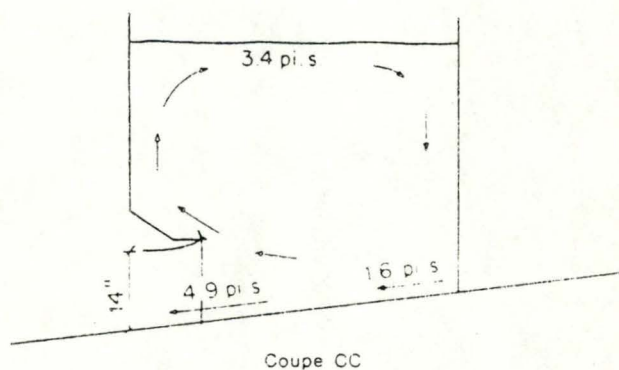
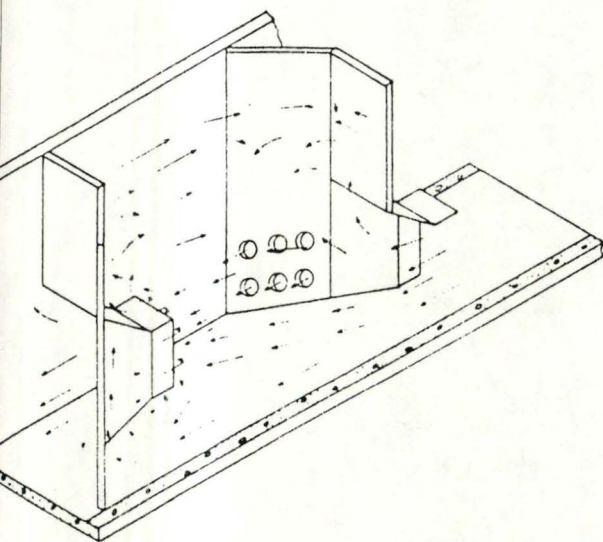
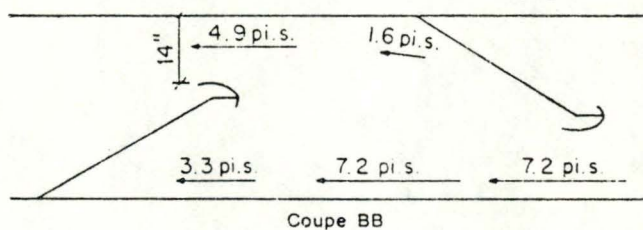
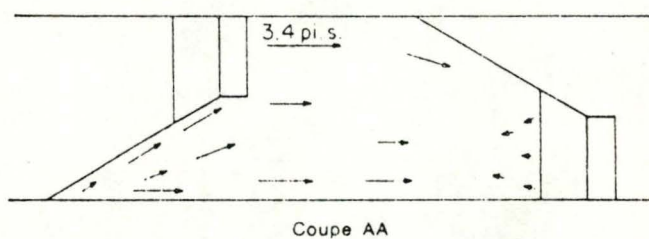
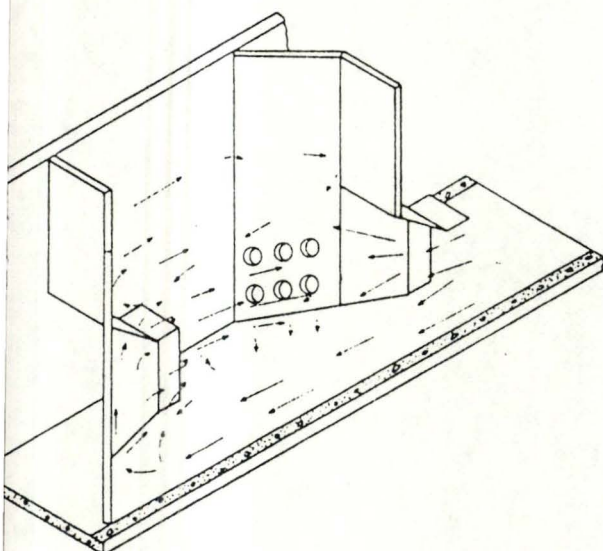


Fig. 23 : Profil des mouvements de l'eau dans un bassin avec orifices à la Borda (d'après MICHEL et NADEAU, 1965).

Lorsque seul le niveau aval varie, le débit fluctue aussi puisque la variation de charge se répartit sur l'ensemble des bassins.

Les passes à orifices à la Borda (Fig. 22 et 23) sont des passes dont les orifices noyés sont en forme d'ajutage, si le jet qui en est issu ne recolle pas contre les parois, il permet aux poissons de circuler dans la zone d'eau morte adjacente au jet et de ne rencontrer aucune des fortes vitesses d'écoulement des autres types d'orifices. Cet avantage, couplé avec un réseau d'écoulement satisfaisant, permet aux poissons de circuler d'une façon continue dans la passe migratoire et de réaliser des économies de construction allant de 35 à 75 % par rapport aux passes actuellement construites ayant le même rendement. Plus le jet est contracté par rapport à l'ouverture, plus les vitesses d'écoulement sont faibles à l'entrée pour une même dénivellation de l'obstacle ; l'orifice à la Borda est le mécanisme qui permet d'obtenir la contraction maximale d'un jet.

Les passes à orifices à la Borda offrent des conditions similaires à celles que les saumons trouvent dans les cours d'eau naturels qu'ils savent remonter d'une seule traite ; elles permettent des dénivellations trois fois plus fortes, pour les mêmes poissons, que celles ayant des orifices ordinaires et dans ce sens elle est hydrauliquement trois fois plus efficace, ceci est dû au fait que le poisson passe dans le décollement du jet et qu'il ne subit pas toute la différence de pression entre les bassins mais seulement une partie de celle-ci répartie le long de l'orifice ; elles s'adaptent à des variations des niveaux de l'eau et elles sont très économiques dans les cas de rivières à taux moyen de migration des saumons.

Les petits orifices supplémentaires répartis sur la paroi servent à maintenir un réseau d'écoulement satisfaisant et à prévenir les remous à axe vertical qui pourraient amorcer des courants en sens inverse à la direction du jet et perturber le poisson dans sa remontée . (MICHEL et NADEAU, 1965).

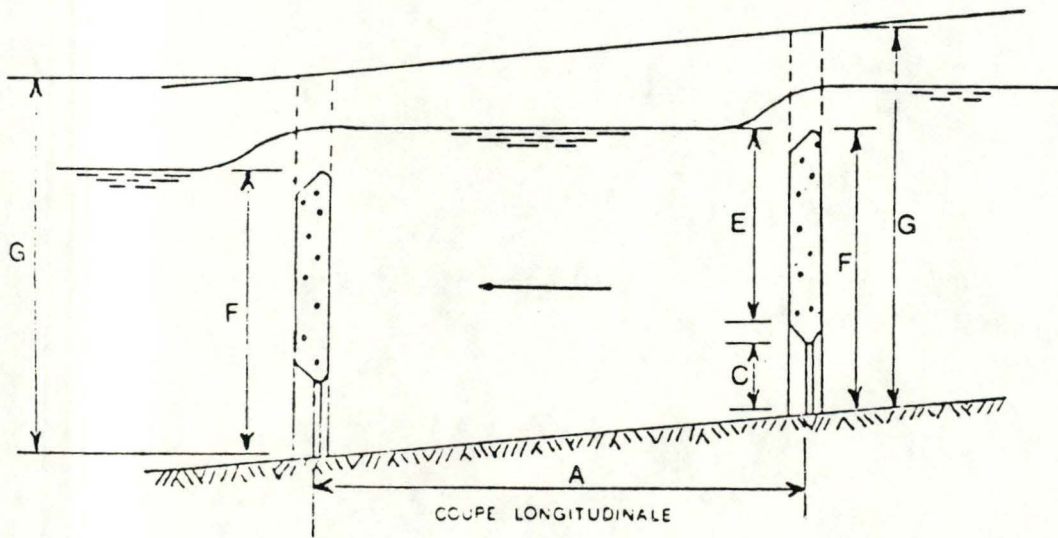
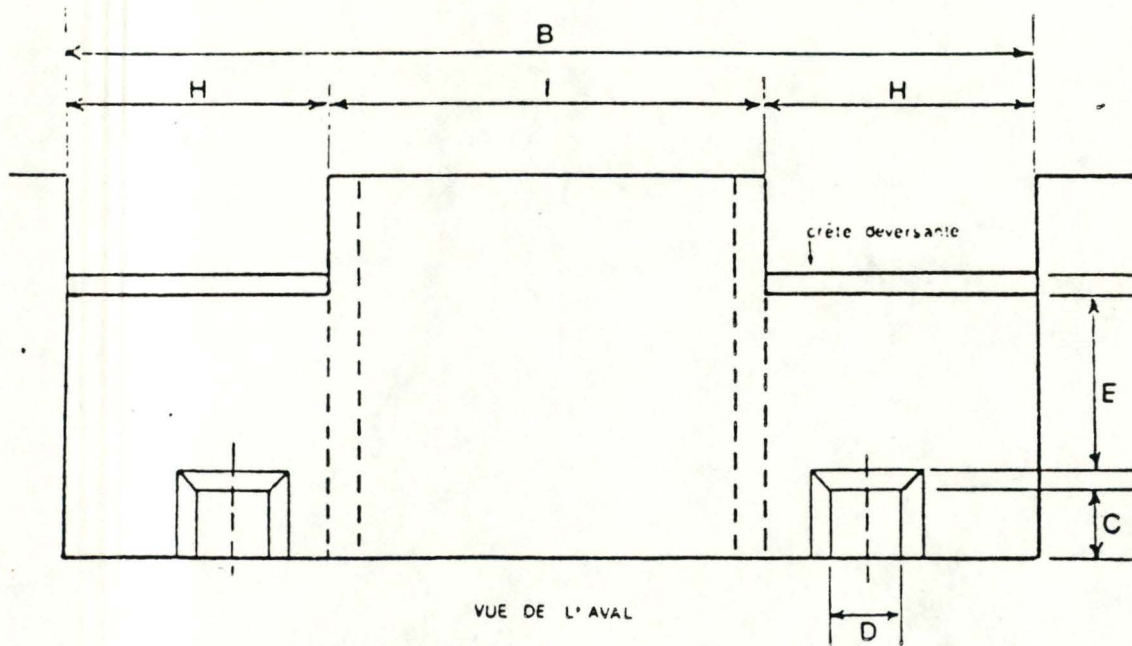


Fig. 24 : Passe de type mixte conventionnelle avec deux orifices noyés et deux échancrures (d'après LARINIER, 1977).

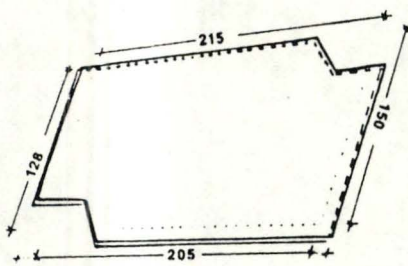
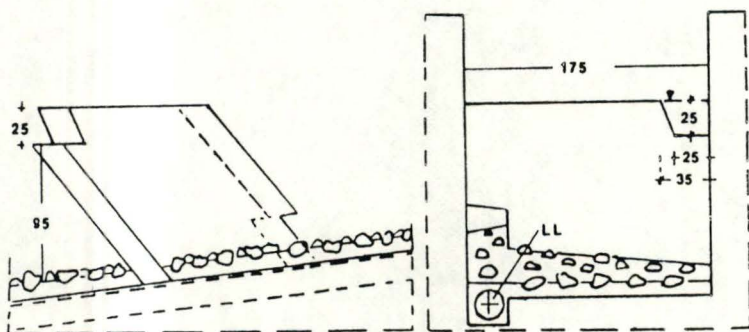


Fig. 25 : Passe mixte rhomboïde (d'après JENS, 1982).



2.1.2.3.3. Les passes de type mixte (Fig. 24)

Elles comportent à la fois une échancrure et un orifice noyé ce qui laisse le choix au poisson de la méthode de passage (nage ou saut) mais augmente le débit, nécessite un agrandissement des bassins et donc provoque une augmentation du coût. L'échancrure peut être supprimée, le passage par le dessus étant rendu possible si une nappe d'eau déversante existe au-dessus de la cloison transversale. Il est préférable d'adopter des dénivellations voisines de 30 cm entre deux bassins pour les truites et les saumons et inférieures à 15 cm pour assurer le passage de la majorité des poissons blancs ; les jets plongeants sont à éviter pour ces derniers. La vitesse de l'eau ne doit pas dépasser 1m/sec. (LARINIER, 1977, 1983bet 1987)

D'une manière générale, les poissons de surface (tels que les gardons et les chevaines) préféreront passer par les échancrures et les poissons de fond par les orifices noyés (PELZ, 1985) mais d'après SCHMASSMANN (1928), le saut d'un poisson signifie que sa manière habituelle de locomotion, la nage, ne suffit plus pour passer un obstacle. Pour SCHIEMENZ et KOOPS (1963), quand des poissons sont observés à la surface, ceci se fait à des endroits où les courants sont défavorables pour la nage en profondeur.

La passe-mixte a été utilisée avec succès à Coblenze sur la Moselle, rivière soeur de la Meuse ; le type "ICE HARBOR" est une passe mixte avec deux échancrures latérales utilisées aux U.S.A.

Un cas particulier de la passe mixte est la passe rhomboïde (Fig.25) où les conditions d'écoulement sont tellement idéales qu'elles permettent une pente de 11,8 % (au lieu de 10 %) et un raccourcissement de la construction ; l'angle aigu formé par la transversale de la cloison rhomboïde et la joue latérale conduit le poisson, nageant à contre-courant, automatiquement vers l'amont du bassin au niveau de l'échancrure. L'institut de construction aquatique à Karlsruhe a fait des études comparatives pour les deux modèles (cloisons transversales conventionnelles et rhomboïdes) qui n'ont pas réussi à prouver la supériorité de l'un sur l'autre.

JENS (1983) a remarqué que les ablettes Alburnus alburnus (L. 1758) remontent un peu plus vite dans l'échelle conventionnelle que dans l'échelle rhomboïde et les gardons Rutilus rutilus (L. 1758) remontent remarquablement plus vite dans l'échelle rhomboïde qui les force à remonter alors que les échelles conventionnelles tendent à chasser ces moins bons nageurs vers l'aval mais SCHIEMENZ (1962) fait remarquer que lorsque des poissons qui remontent une passe voient un observateur, ils s'agitent et se laissent entraîner en aval par le courant, les poissons montrent ainsi qu'ils sont très sensibles lorsqu'ils remontent naturellement dans les fleuves (SCHIEMENZ, 1959b).

Des études sur modèles réduits ont montré que la vitesse de l'eau dans les orifices de passage est la même dans les passes ^{rhomboïdes} ~~mixtes~~ et conventionnelles ; dans la passe rhomboïde, à cause de changements du courant au bord du mur transversal, il existe, à côté de vitesse de courant faible, des vitesses de pointes très élevées qui doivent être traversées par le poisson tandis que la répartition des vitesses est relativement uniforme dans la passe conventionnelle en dehors des trous de passage ; des courants de retour et des renversements ont été observés dans les deux cas ; la turbulence, le dérangement du courant et la quantité d'eau circulante est plus élevée dans la forme rhomboïde que dans la forme conventionnelle de la passe. De ces études, il ne ressort pas que la construction rhomboïde possède des avantages hydrauliques (JENS, 1981). Il ressort aussi que la passe rhomboïde retient aussi les épaves et les débris et ne les laisse pas passer à travers elle contrairement à ce que JENS (1958) espérait ; les orifices noyés sont également sujet à obstruction.

L'institut zoologique de Mainz étudie la remontée des poissons dans huit passes conventionnelles et deux passes rhomboïdes de la Moselle allemande et constate jusqu'à présent le bon fonctionnement des deux systèmes (JENS, 1983). SCHIEMENZ (1962) conseille de construire des passes à bassins selon le modèle conventionnel dans le tiers supérieur et suivant le modèle rhomboïde dans les deux tiers inférieurs mais les avantages de cette construction combinée n'ont jamais été confirmés expérimentalement.

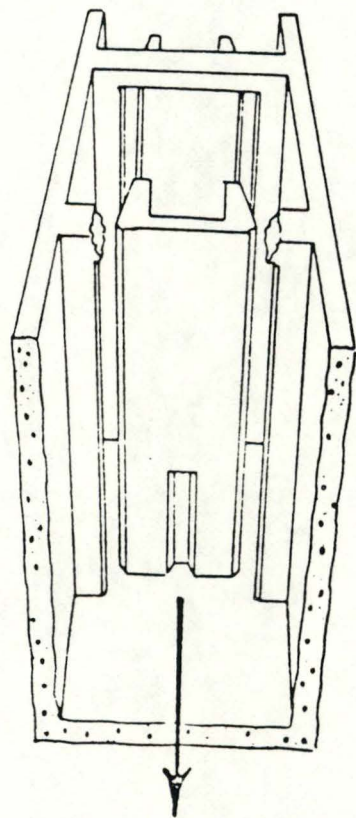
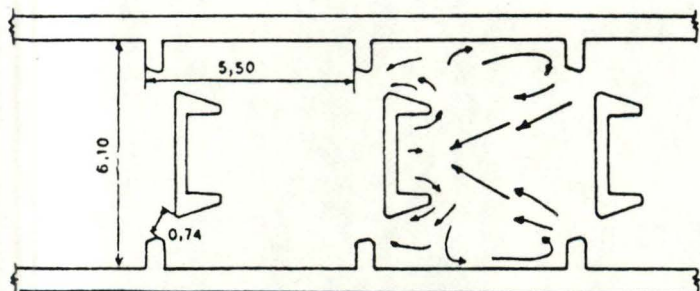


FIG. 26 : PASSE A FENTES VERTICALES TYPE HELL'S GATE
(d'après CLAY in LARINIER, 1977).

Les cloisons transversales d'une passe mixte peuvent être inclinées par rapport à l'axe longitudinal de la passe tout en restant verticales. D'après de GROOT et MUYRES (1980), l'angle de 30° avec alternance de l'angle d'une cloison à l'autre serait l'idéal.

2.1.2.3.4. Les passes à fentes verticales (Fig. 26)

Le passage de l'eau et des poissons d'un bassin à l'autre se fait pas une ou deux fentes verticales pratiquées sur toute la hauteur des cloisons, leur critère de dimensionnement sont semblables à celles des autres passes à bassins (VIOLETTE, 1908), il y a tout lieu de croire que la vitesse de remontée des poissons dans les passes à fentes verticales n'est pas inférieure à celles dans les passes à échancrures, les poissons franchissent vraisemblablement les cloisons au niveau du fond du bassin car ils s'y trouvent déjà normalement, ils n'ont pas l'effort supplémentaire (pas très habituel pour eux) de s'élever pour franchir des déversoirs (LARINIER, 1977).

La dénivellation entre deux bassins devrait être inférieure à 20 cm pour l'aloise et à 30 cm pour la truite. Ceci maintient la vitesse de l'eau et le débit suffisamment bas, bien que la fente soit assez large pour ces espèces (LARINIER, 1983b)

Les avantages de la passe à fentes verticales sont les suivants :

- on peut disposer une planche glissant de haut en bas dans la fente qui lorsqu'elle est abaissée transforme la passe en une passe à orifices noyés (BRAWN, 1979)
- le fonctionnement est assuré même si le niveau amont varie de 3 ou 4 m, à condition toutefois que niveaux amont et aval subissent des variations de même ordre de grandeur (CLAY, 1961); pour LARINIER (1983b), ceci est ^{le} seul intérêt véritable de cette passe.
- elle est particulièrement indiquée pour les obstacles naturels tels que les rapides (CLAY, 1961)
- le poisson passe à la profondeur qu'il désire (KATOPODIS, 1981.)

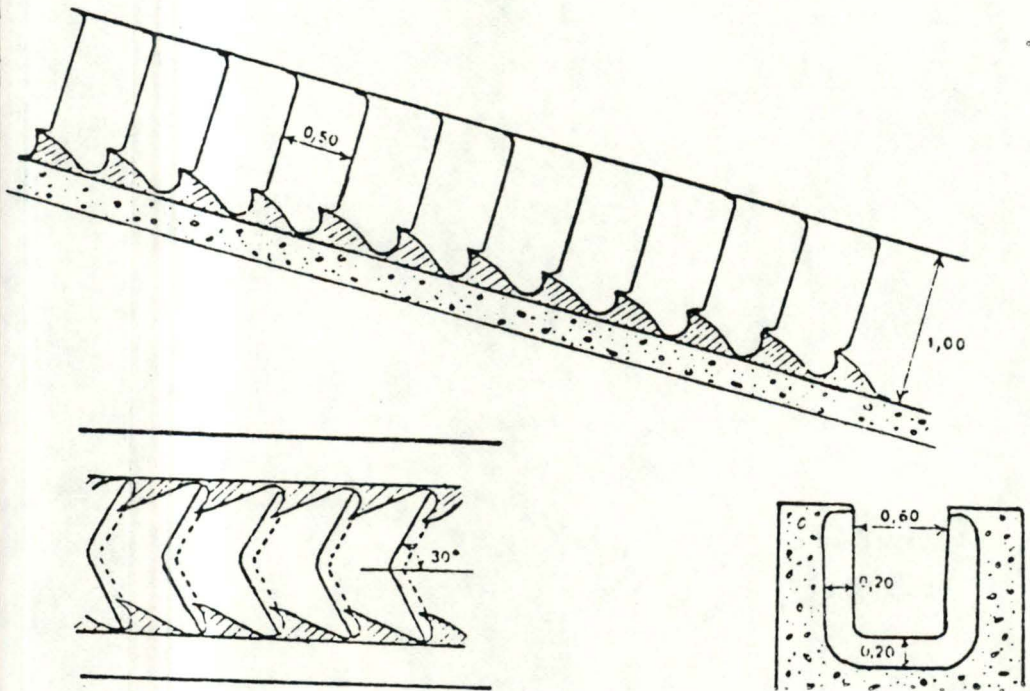


FIG. 27 : CARACTERISTIQUES DES PREMIERES ECHELLES DENIL
(d'après LARINIER, 1977).

Les seuls désavantages apparents sont que :

- la fente peut limiter la taille des poissons susceptibles d'emprunter la passe, les aloses notamment peuvent se blesser ou s'écailler contre les parois et en mourir (LARINIER, 1987)
- la passe ne peut s'adapter qu'à de gros ouvrages car le débit minimum dans la passe est de $1\text{m}^3/\text{sec}$. (LARINIER, 1987)

2.1.2.3.5. Les passes à orifices ou à échancrures disposées en chicanes.

Ce sont des passes où les points de passage alternent d'un côté à l'autre de l'échelle lors du passage d'un bassin à l'autre ; elles dissipent bien l'énergie (DENIL, 1936) mais sont défavorables à la remontée du poisson (CLAY, 1961). LARINIER (1977) déconseille cette disposition.

2.1.2.4. Les échelles à ralentisseurs ou "DENIL"

Elles tiennent leur nom de l'ingénieur belge DENIL qui les a inventées.

Des déflecteurs ou des ailettes (Fig. 27) destinées à réduire les vitesses moyennes de l'écoulement sont disposés sur le fond et/ou sur les parois d'un canal à forte pente. DENIL conseille une pente maximum de 25 % car pour des pentes plus fortes, la résistance spécifique propre (égale au poids du poisson multiplié par le sinus de l'angle que fait le couloir avec l'horizontale) est beaucoup trop élevée et ne laisse plus au poisson, qui doit la vaincre, une puissance suffisante pour lutter contre la vitesse propre du courant de l'échelle ("drag force") et pour fournir une vitesse de progression nécessaire à sa remontée (DENIL, 1936).

Les passes à ralentisseurs sont particulièrement adéquates pour les petits cours d'eau à condition que le débit prélevé par la passe puisse excéder 250 litres/seconde, pour les obstacles de hauteur inférieure à environ 2,50 mètres, pour les ouvrages déjà existants dans la mesure où il est beaucoup plus facile d'intégrer ce type de passe de faible encombrement dans le corps de l'ouvrage.

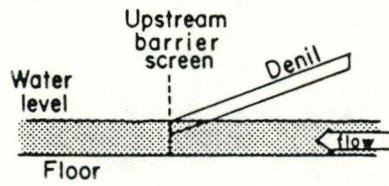
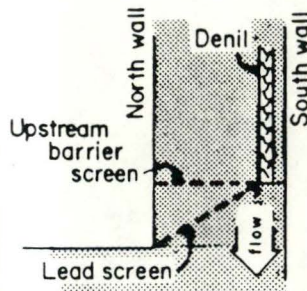
Les passes DENIL peuvent faire passer un grand nombre de poissons par unité de temps (SLATICK, 1975).

Pour le saumon, DENIL a démontré que ses passes étaient plus attractives que les passes à bassins (BACHELIER, 1965).

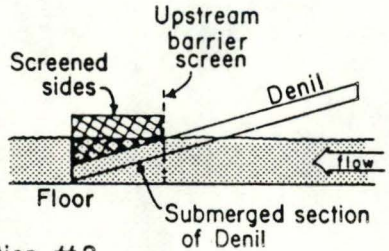
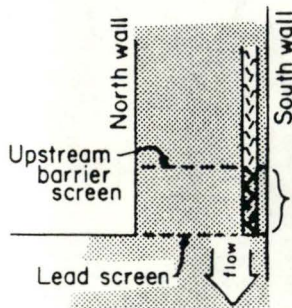
Des mesures de la teneur en glucose et en lactate du plasma prises chez les brochets ont révélé que la montée des passes "DENIL" n'a provoqué qu'un stress modéré chez ces poissons. (SCHWALME et alii, 1985).

Pour BACHELIER (1965), lorsqu'un barrage n'est pas assez élevé pour mériter une écluse ou un ascenseur ou au contraire est trop élevé pour être vaincu par un simple barrage divisant par moitié la hauteur de son déversement, le principe DENIL, pour un même débit d'appel que tout autre système, permet la mise en oeuvre d'un ouvrage de section toujours plus restreinte et éventuellement bien moins long à cause de la pente plus forte ; et malgré cet encombrement moindre, elles sont plus attractives pour les poissons migrateurs que les autres types de passes. Des expériences effectuées par FULTON et alii (1953) démontrent que les poissons préfèrent incontestablement les passes DENIL à ralentisseurs plans aux passes à bassins successifs. En effet, la construction des deux types de passes l'un à côté de l'autre montre qu'une forte majorité des poissons préfèrent l'échelle DENIL. FULTON et alii (1953) trouvent que 89 % du total des poissons qui franchissent l'obstacle empruntent la passe DENIL. SLATICK (1975) dans une expérience analogue trouve que 95 % des salmonides remontant au printemps et en été préfèrent la passe DENIL et 5 % choisissent la passe à bassins successifs. La meilleure attractivité de la passe DENIL serait due au fait que le jet d'eau à la sortie de l'échelle se fait sentir en aval sur une distance considérable et toujours horizontalement par rapport à la surface de l'eau, tandis que le courant d'eau qui sort d'une passe à bassins successifs est rapidement dissipé en aval de l'obstacle. (FULTON et alii, 1953).

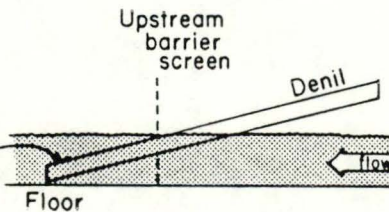
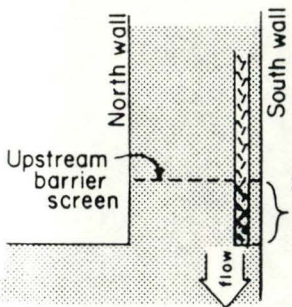
SLATICK (1975) a mis en évidence l'importance de l'aménagement de l'entrée de la passe DENIL pour l'efficacité du dispositif. Les trois modes d'entrée qu'il a testés sont illustrés à la figure 28. L'étude consistait à comparer les taux de succès dans le



(A) Condition # 1



(B) Condition # 2



(C) Condition # 3

—Plan and side view of experimental area showing position of Denil for entrance condition tests.

Fig. 28 : Vue en plan et de côté d'une aire expérimentale montrant la position d'une échelle DENIL pour des tests concernant les conditions d'entrée (d'après SLATICK, 1975).



Fig. 29 : Cette échelle DENIL possède un écran grillagé servant à guider le poisson vers l'entrée de la passe (d'après SLATICK, 1975).

franchissement et les temps de traversée pour chaque cas. La meilleure disposition est incontestablement celle où la partie aval de la passe n'est pas submergée et surtout où les poissons sont dirigés par un écran grillagé. Une telle disposition est illustrée à la figure 29. Elle correspond au schéma A de la figure 28. L'immersion de l'aval de la passe (schéma B de la figure 28) augmente la durée nécessaire au franchissement mais n'altère pas le taux de passage effectif. La suppression des grillages d'orientation (schéma C de la figure 28) entraîne une période de transit prolongée et un taux de passage amoindri, aussi cette dernière conception est-elle à éviter, du moins dans les cas où le flux de la sortie de l'échelle est parallèle à celui du courant principal. Signalons que pour les aloses, il est préférable d'immerger l'aval de la passe, tout en conservant les dispositifs de grillages d'orientation. Une passe destinée à la fois aux salmonides et aux aloses aura une entrée immergée à une profondeur d'environ 0,8 m.

Les ingénieurs suédois spécialisés sont convaincus que les passes DENIL remplaceraient avantageusement les passes à bassins déjà installées dans leur pays. (FULTON et alii ,1953)

Lorsque les déflecteurs sont construits en béton, ils résistent mieux à l'agressivité de l'eau et au transport solide. Ce type de passe peut servir de glissière à canoë-kayak si la largeur est d'au moins 1,40 m. Les échelles à ralentisseurs sont d'une utilisation très souple. En jouant sur la pente, les dimensions et les types des ralentisseurs, il est possible de concevoir des passes répondant à des conditions très variables (GROUPEMENT d'ANTONY, 1979).

Les échelles DENIL présentent le désavantage que les poissons ne peuvent pas se reposer entre les ralentisseurs et lorsque la dénivellation devient importante, le migrateur doit fournir un effort intense et il est préférable de prévoir des bassins de repos (tous les deux mètres environ de dénivellation) au niveau desquels les éventuels changements de direction s'effectuent, ou alors d'installer une passe à bassins successifs.

Pour les espèces anadromes, des bassins de repos sont recommandés si les échelles DENIL sont plus longues que 12 à 15 m (DECKER, 1967; ZIEMER, 1962). L'INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS (1942) recommande des longueurs de 9,10 m entre les bassins de repos tandis que Mc LEOD et NEMENYI (1941) conseillent 6,10 à 7,30 m. Une longueur maximum de 7 m entre les bassins de repos est suggérée pour les espèces holobiotiques (KATOPODIS, 1981). La longueur des passes à poissons DENIL semble avoir une influence sur les espèces capables de la franchir. Des expériences menées en Amérique du Nord ont montré que des passes de longueur supérieure ou égale à 15 m ne sont pas franchies par la carpe Cyprinus carpio Linné 1758. Pour des longueurs supérieures à 20 m, d'autres espèces telles que Ptylocheilus oregonensis, Alosa sapidissima (Wilson 1811) et Catostomus sp sont arrêtées tandis que pour des longueurs supérieures à 27 m seuls les adultes migrants du saumon pacifique Oncorhynchus gorboscha (Walbaum 1792), de Salmo gairdneri Richardson 1836 et de lamproies pacifique Lampetra tridentata peuvent passer. Les échelles DENIL de longueur sélectionnée peuvent donc servir de barrières sélectives laissant passer les salmonicoles et arrêtant la plupart des non-salmonicoles lors des migrations (SLATICK et BASHAM, 1985). D'après BACHELIER (1965) les échelles DENIL ne conviennent pas pour la remontée des poissons lents tels que les éperlans, les civelles et les ablettes ni pour celles des esturgeons ; toutefois, les échelles DENIL du barrage d'Angleur se sont montrées efficaces pour les poissons blancs même de petites tailles (DENIL, 1936). C'est également le cas pour des échelles construites au Canada (SCHWALME et alii, 1985).

Lorsque la dénivellation devient importante, le coût des passes à ralentisseurs devient important également. Les ralentisseurs sont souvent de forme complexe ce qui rebute l'auteur du projet qui préfère généralement adopter les passes à bassins plus faciles à réaliser et à entretenir (LARINIER, 1977). Notons également que si une passe DENIL est plus courte qu'une passe à bassins conçue pour une même dénivellation (à cause de sa pente plus forte), elle n'est pas forcément moins chère car une échelle DENIL requiert la construction de plus hauts murs latéraux

et de nombreux ralentisseurs, ce qui alourdit le coût d'installation (FULTON et alii ,1953).

Les passes DENIL sont inacceptables si les niveaux sont variables, en raison de la trop forte augmentation de débit correspondant à l'accroissement de la profondeur d'eau ; toutefois, si le niveau amont varie, on peut adapter un dispositif de régulation du débit à l'aide de déversoirs latéraux installés sur la partie amont de l'échelle (LARINIER, 1977) ou par la construction dans l'épaisseur du barrage d'une chambre susceptible de se remplir d'eau en cas de surverse et pouvant alimenter la passe lorsque le niveau d'eau dans la chambre fait monter un flotteur suffisamment haut que pour ouvrir une vanne qui lui est raccordée (LACHADENEDE, 1958). Lorsque c'est le niveau aval qui augmente, il peut y avoir une réduction significative de la vitesse de l'eau à la sortie d'eau de l'échelle (l'entrée pour les poissons) due à une augmentation de la section de sortie de l'eau alors que le débit reste le même. Ceci diminuera l'attractivité de la passe, moins cependant pour les poissons qui sont des nageurs de surface car c'est en surface que la diminution de la vitesse sera la moins importante.

Les passes DENIL ne fonctionnent que pour une valeur de débit minimale où le tirant d'eau est suffisant pour que les déflecteurs donnent naissance à des courants secondaires assez intenses pour assurer une dissipation suffisante d'énergie (on dit que l'échelle est amorcée) et ralentir la vitesse de l'eau au fond tout en permettant une grande vitesse d'eau près de la surface (SCHWALME et alii, 1985) ; la dissipation d'énergie est due à un grand transfert d'énergie entre courants allant en sens inverse et non pas à des effets de friction des ralentisseurs comme il est parfois suggéré (BEACH, 1984) ; au-delà d'une valeur de débit maximale, les échelles DENIL sont balayées d'amont en aval par des vagues onduleuses assez importantes (DENIL, 1936-1938) ; c'est la position du premier ralentisseur par rapport au niveau amont qui conditionne le débit transitant dans la passe. Quelle que soit la longueur d'une passe DENIL, la vitesse de l'eau ne doit pas être telle qu'elle dépasse la vitesse maximale où l'endurance du poisson en tenant compte de la longueur du poisson et de la température de l'eau .

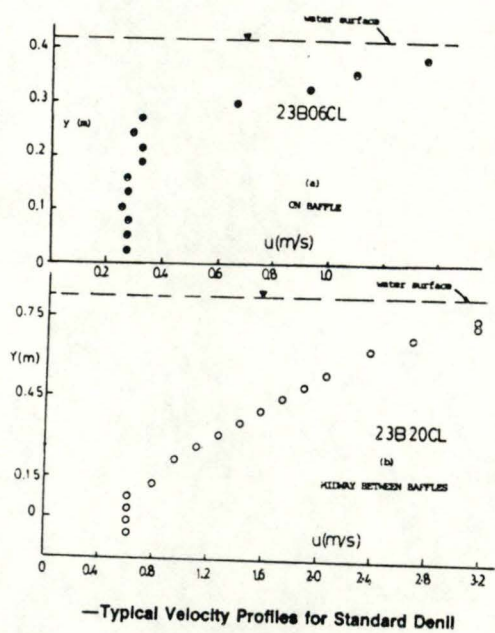


Fig. 30 : Profil de vitesse typique pour une échelle DENIL à ralentisseurs plans (d'après RAJARATNAM et alii, 1984).

Une vitesse maximale de 3m/sec. est suggérée pour tous les saumons et la plupart des truites de mer (BEACH, 1984).

Il existe de nombreuses variantes de passes à ralentisseurs, DENIL n'ayant fait qu'améliorer, au cours de ses nombreuses années de recherche, la passe originale du barrage d'Angleur sur l'Ourthe au point de vue de la dissipation de l'énergie et de la marge de fonctionnement des passes. Toutefois, toutes les variantes d'échelles DENIL ont pour caractère essentiel de comprendre un débit constant, invariable sur toute la longueur, une hauteur d'eau constante et une vitesse uniforme à une même profondeur (DENIL, 1936), il est aussi maintenant reconnu par tous que, quelque soit l'échelle, la meilleure inclinaison des ralentisseurs par rapport au fond de l'échelle est de 45° et la meilleure distance entre les ralentisseurs est 67% de la largeur du canal (BEACH, 1984).

Le dispositif DENIL fut souvent critiqué quant à son efficacité mais les passes qui étaient non-fonctionnelles le furent le plus souvent à cause de modifications intempestives effectuées par des techniciens étrangers (soviétiques et français notamment) sur le modèle original (et archaïque) conçu par DENIL ou à cause de mauvaises implantations (DENIL, 1936). Il faut cependant reconnaître que la conception et l'installation des passes à ralentisseurs est plus délicate que celle d'une passe à bassins successifs (LARINIER, 1983 a et b). Leur dimensionnement est souvent complexe. Sur plans, on les rapporte souvent à la largeur du canal (l) ou à la hauteur du déflecteur (s).

Les lois de perte de charge dans les passes DENIL sont fonction du type de ralentisseurs (MORRIS, 1968 ; WHITE et NEMENYI, 1942). Il existe dans ces passes une zone où la vitesse de l'écoulement reste identique lorsque la pente augmente et que le débit reste identique, sans doute à cause des sections plus étroites qui contrôlent la vitesse (LARINIER, 1977). Cependant, lorsque le débit augmente, l'épaisseur de la zone d'écoulement à faible vitesse (située à proximité des ralentisseurs) décroît or c'est cette zone de faible vitesse qui explique que des nageurs faibles et des petits poissons peuvent remonter les échelles DENIL (BEACH, 1984) (voir Fig. 30).

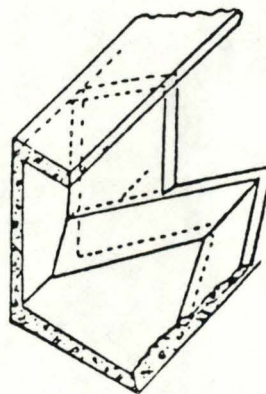
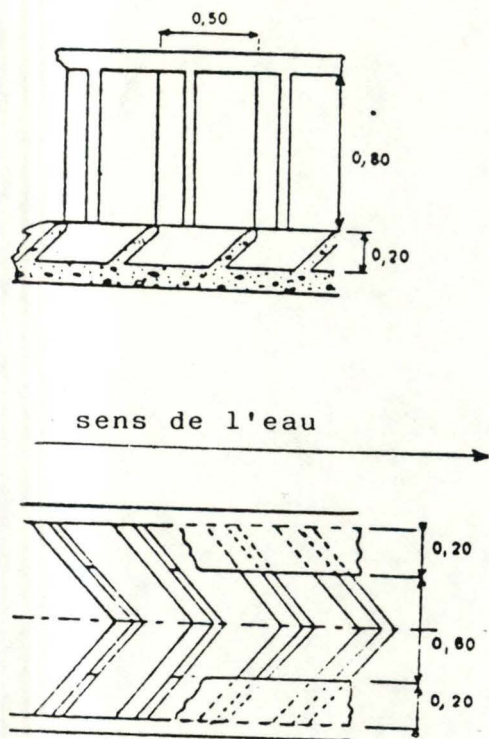
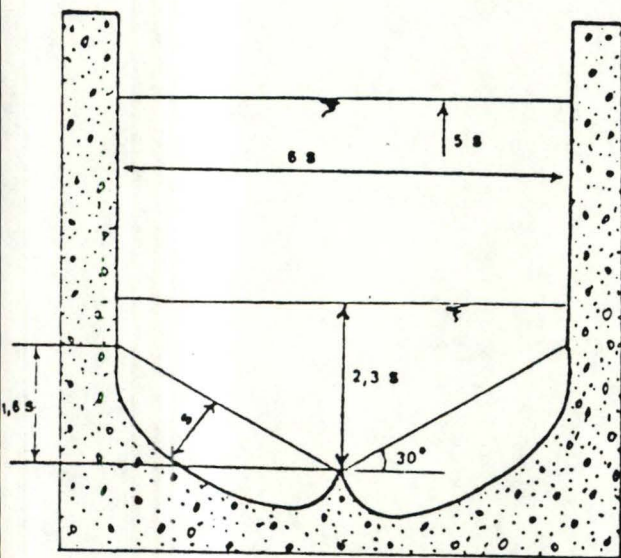
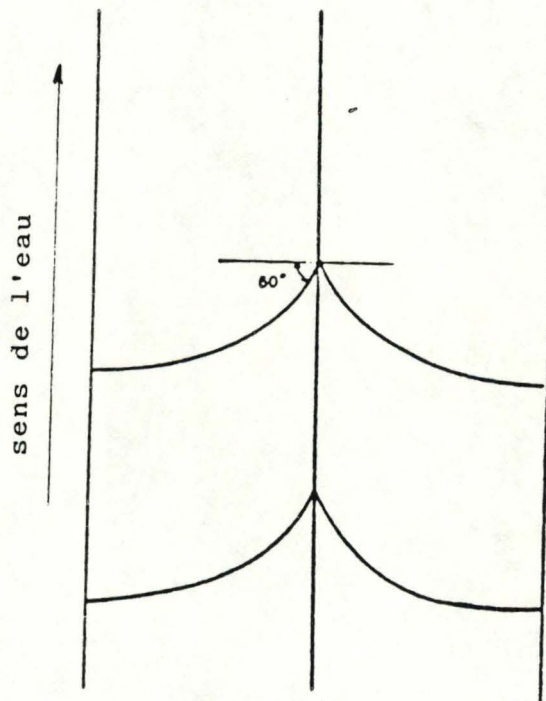


Fig. 31 : Echelle DENIL simplifiée PILI-PLAN
(modifié d'après LARINIER, 1977).



a - coupe transversale



b - vue en plan schématique

FIG 32 : ECHELLE DE TYPE PIRO
(modifié d'après LARINIER, 1977).

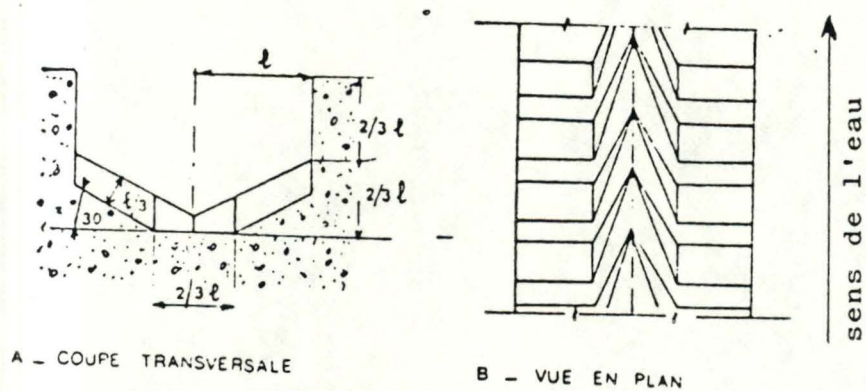


FIG 33. Passe à ralentisseurs de type PIRO-PLAN
(modifié d'après BACHELIER in LARINIER, 1977).

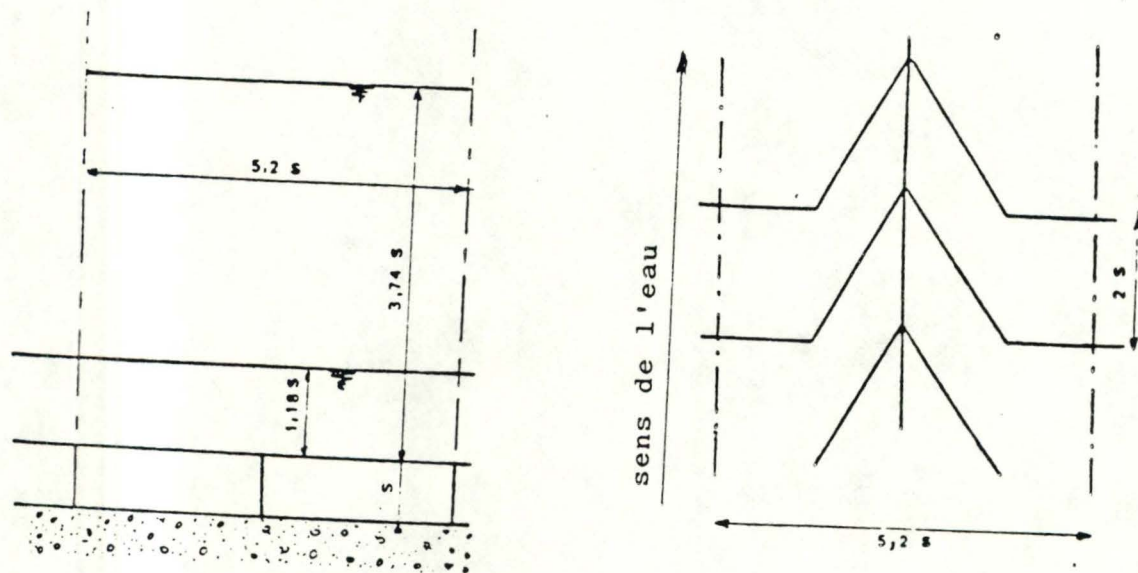


FIG 34. ECHELLE DE TYPE RIRO
(modifié d'après DENIL in LARINIER, 1977).

L'entraînement de bulles d'air (de 2 à 4 mm de diamètre en moyenne) dans l'eau augmente son volume et sa vitesse moyenne réelle, elles forment une eau "émulsionnée" ou "eau blanche" où la vitesse de nage des poissons est moindre que dans l'eau "lisse".

2.1.2.4.1. L'échelle PILI-PLAN (Fig. 31)

C'est une forme DENIL simplifiée dont les déflecteurs peuvent être construits en béton armé mais elle serait peu efficace.

2.1.2.4.2. Les échelles de type PIRO (Fig. 32)

Ce sont des échelles DENIL de pente égale à 25 % et où les déflecteurs courbés, en forme de gouttière, ne freinent la veine liquide que par en dessous. Elles peuvent être employées en plus grande largeur que le type PILI et sous une pente plus forte que le type RIRO ou LACHADENEDE; elles donnent une très bonne dissipation d'énergie mais sont peu recommandables car onéreuses, les amortisseurs ne pouvant être fabriqués que par coulage avec du bronze. (BACHELIER, 1965 ; LARINIER, 1977).

2.1.2.4.3. Les échelles PIRO-PLAN (Fig. 33)

Ce sont des échelles PIRO où les déflecteurs sont fabriqués à l'aide de deux tôles planes pour la facilité d'exécution (LARINIER, 1977). Au barrage de Bergerac, on a construit deux échelles de ce type dont la hauteur des sorties diffèrent de 50 cm et ceci pour s'adapter aux variations du niveau du bief amont (BACHELIER, 1965).

2.1.2.4.4. Les échelles de type RIRO (Fig. 34)

Ce sont des échelles avec ralentisseurs de fond s'arrêtant à un plan parallèle à celui du couloir et qu'on peut disposer en bandes longitudinales qu'on peut juxtaposer, ce qui permet une largeur aussi grande que l'on veut (ce qui est intéressant pour en faire une glissière à kayak) ; ces ralentisseurs sont peu onéreux et assurent une bonne dissipation de l'énergie. La pente devrait être limitée à 15 %. Les passes RIRO sont déconseillées par LARINIER (1977) au profit d'autres modèles encore plus efficaces mais conseillées par BACHELIER (1965) pour les ouvrages déjà existants à cause de leur encombrement relativement faible et des avantages déjà cités.

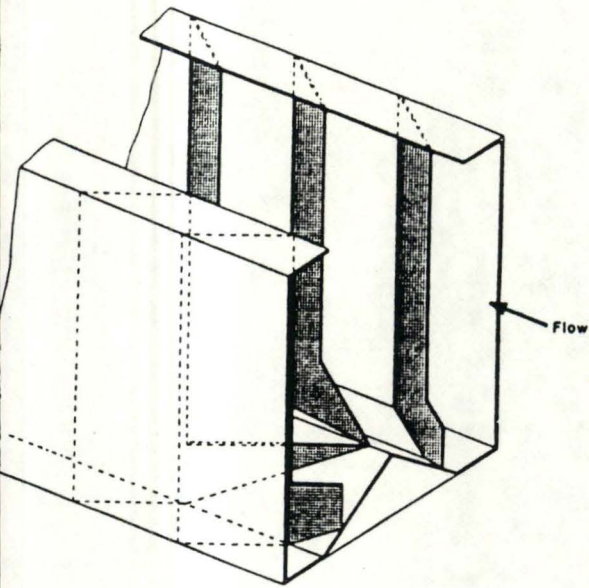


Fig. 35 : Coupe transverse d'une section d'échelle à ralentisseurs de type A (d'après BEACH, 1984).

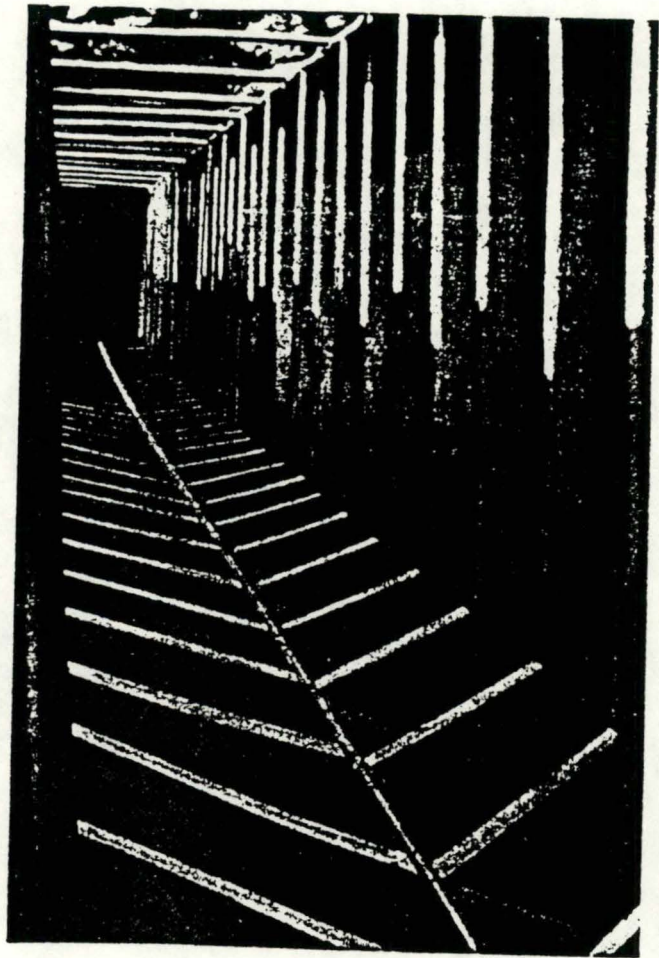


Fig. 36 : Vue plongeante à travers une échelle à ralentisseurs de type A (d'après BEACH, 1984).

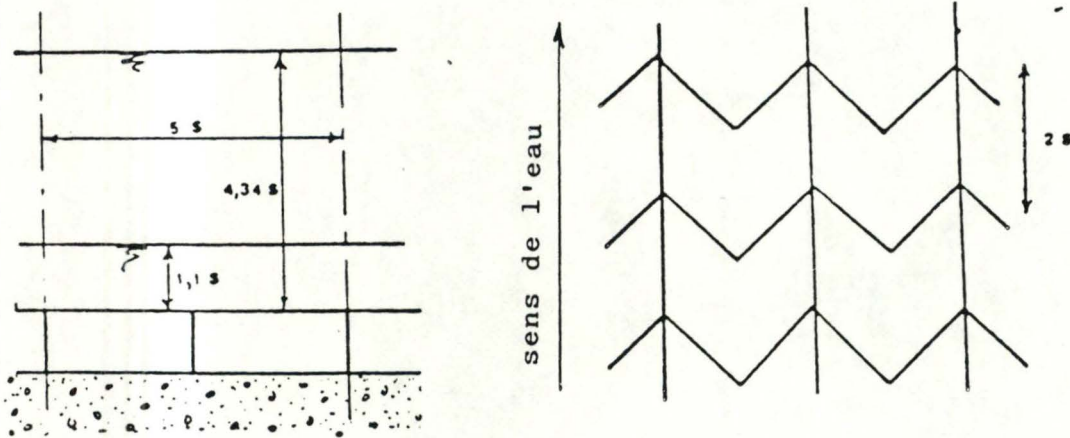
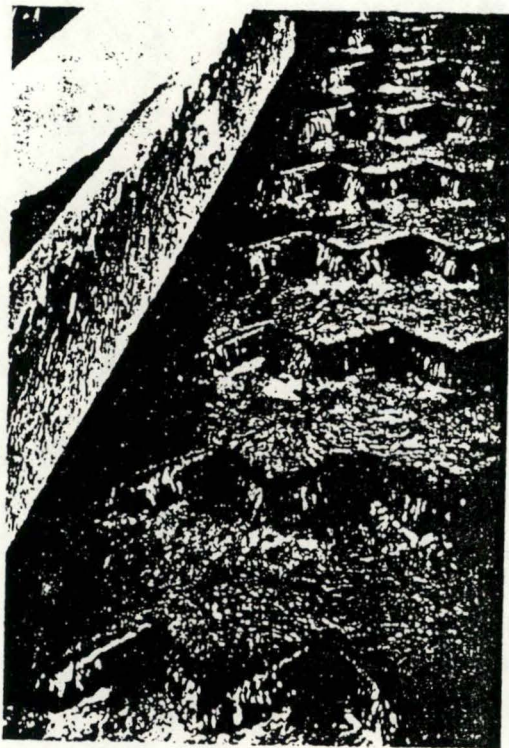
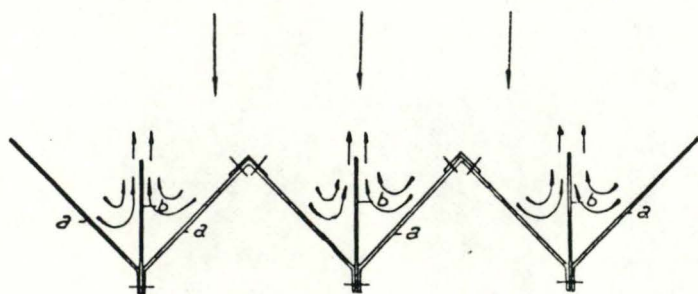


FIG 37 : Echelle de type PACHE (modifié d'après DENIL in LARINIER, 1977).



Éléments amortisseurs d'échelle

Fig. 38 : Echelle de type LACHADENEDE
(d'après LACHADENEDE, 1931).

2.1.2.4.5. Les échelles à ralentisseurs de type A (Fig. 35 et 36)

L'arrangement des ralentisseurs y est assez complexe, c'est une adaptation américaine de la passe DENIL développée par Mc LEOD et NEMENYI (BEACH, 1984).

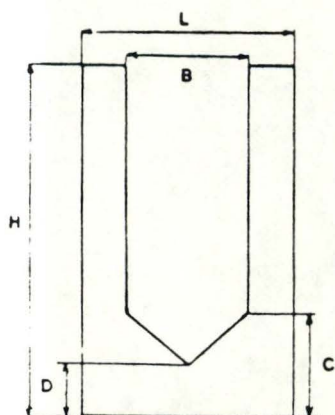
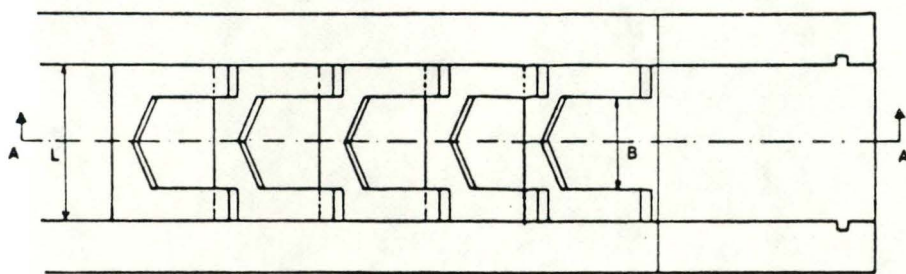
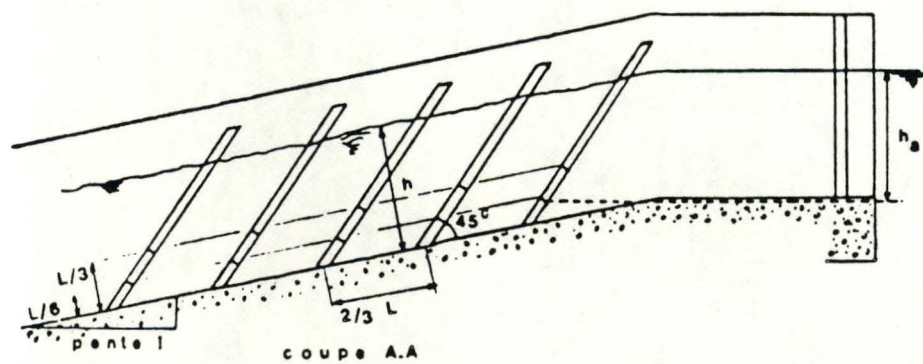
2.1.2.4.6. Les échelles de type PACHE (Fig. 37)

Les ralentisseurs disposés sur le fond uniquement sont constitués par une série de dièdres droits ancrés perpendiculairement, à intervalles réguliers, dans le fond et situées sur des bandes longitudinales.

Les passes PACHE sont simples d'exécution mais leur pente devrait idéalement être limitée à 12 % (DENIL, 1936-1938) et elles sont très sensibles aux variations du niveau amont supérieures à 20 cm ce qu'on peut corriger par le montage du sommet de l'échelle sur des flotteurs lestés de façon à ce que la lame d'eau reste constante quel que soit le niveau amont. La correction peut également se faire par des clapets automatiques laissant passer l'eau lorsque le niveau amont atteint une certaine cote. Quand la variation du niveau amont reste faible et que le débit admissible dans la passe est illimité, les passes PACHE sont efficaces car elles ont un gros débit proportionnellement à leur section et assurent donc une bonne attraction du poisson, d'autant plus forte que la passe sera large. Ce type de passe est conseillé par LARINIER (1977).

2.1.2.4.7. Les échelles de type LACHADENEDE (Fig. 38)

Elles ne diffèrent des échelles PACHE que par la suppression des bandes longitudinales ou leur remplacement par des plans bissecteurs ainsi que par l'augmentation de l'écartement des ralentisseurs. La pente doit être idéalement inférieure à 15 % et ne doit jamais dépasser 25 %. Une pente de 9 % donne un écoulement parfait. Les échelles LACHADENEDE peuvent être construites à bon marché en bois ou en tôles de fer par des artisans non spécialisés (LACHADENEDE, 1931). Les plans bissecteurs ont une longueur correspondant à la hauteur de la dent formée par le dièdre ; ces réducteurs de vitesse produisent un retour en arrière du liquide d'autant plus accentué que la vitesse du courant descendant est plus grande, ce type de passe est donc conseillé chaque fois qu'il faut diminuer la vitesse d'un liquide sans créer de réactions latérales, il est également conseillé par LARINIER (1977).



$$B = 0,583 L$$

$$C = 0,472 L$$

$$D = 0,236 L$$

$$H = 1,40 \text{ à } 1,65 L$$

Fig.39: Paramètres caractéristiques de la passe à ralentisseurs plans.
(d'après LARINIER, 1983).

2.1.2.4.8. Les échelles à ralentisseurs latéraux (type RIRO ou PACHE)

Des ralentisseurs plans sont disposés sur les parois de l'échelle sur une largeur cinq fois moindre que la largeur libre totale de l'échelle. La vitesse moyenne de l'eau reste constante quelque soit le niveau d'eau dans l'échelle et dans le niveau amont (1 mètre/sec. pour une échelle réalisée par DENIL en Belgique). La pente maximale à adopter est de 20 % mais selon BACHELIER (1953), la pente maximale de 25 % peut être atteinte si l'échelle est munie à la fois de déflecteurs latéraux et de fond. Toujours selon BACHELIER (1953), les déflecteurs latéraux limitent la largeur de la passe au point qu'elles peuvent n'être guère praticables par le saumon.

Dans le cas où les ralentisseurs occupent les côtés du canal seulement et pas le fond, la passe garde de bonnes propriétés dissipatives d'énergie. Ce type d'arrangement de ralentisseurs a été conseillé par le COMMITTEE ON FISH PASSES (ANON, 1972) comme étant particulièrement adéquat pour les grandes variations du niveau du bief amont. (BEACH, 1984).

Si les ralentisseurs sont de type PACHE, l'adaptation à des variations fortes du niveau amont est bonne.

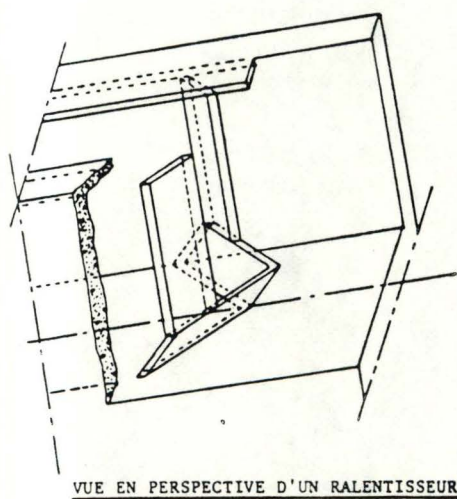
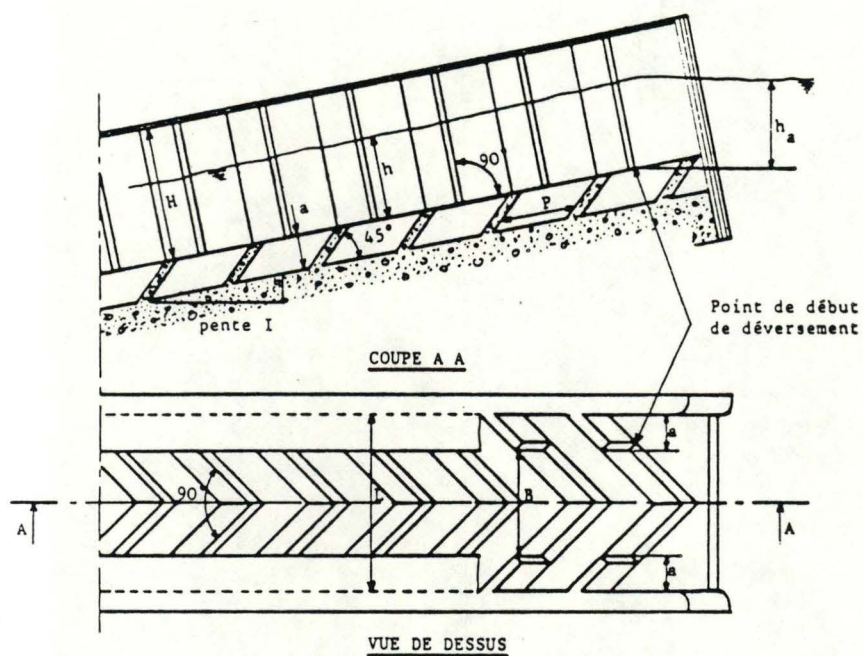
Un cas particulier de ces échelles sont les échelles de type PILI où les amortisseurs latéraux font une saillie égale à la moitié de la largeur libre, leur inconvénient est leur limitation en largeur.

2.1.2.4.9. L'échelle DENIL simplifiée à ralentisseurs plans (Fig. 39)

Elle a été mise au point par NEMENYI (WHITE et NEMENYI, 1942).

Les pentes doivent être réduites (13 à 17 %) afin d'éviter les turbulences et le tiran d'eau h , qui est égal à $0,5-0,6 L$ (où L est la largeur de l'échelle), doit être au minimum de 60 centimètres.

Les ralentisseurs de forme plane sont orientés à 45° vers l'amont ce qui engendre des jets tels que la direction des filets liquides soit perpendiculaire à ces déflecteurs à la base de l'étranglement et grossièrement parallèle au fond du canal dans leur partie supérieure, cela se traduit globalement par un transfert de masse du fond du canal vers la surface.



$$\begin{aligned}
 B &= 0,6 L \\
 a &= 0,2 L \\
 P &= 0,5 L \\
 H &= 1,33 L
 \end{aligned}$$

Figure 40: Paramètres caractéristiques de la passe à ralentisseurs de type "FATOU" (d'après LARINIER, 1983).

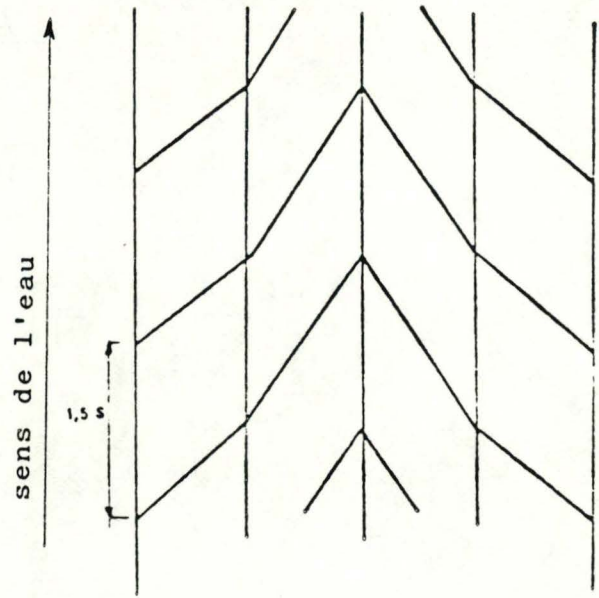
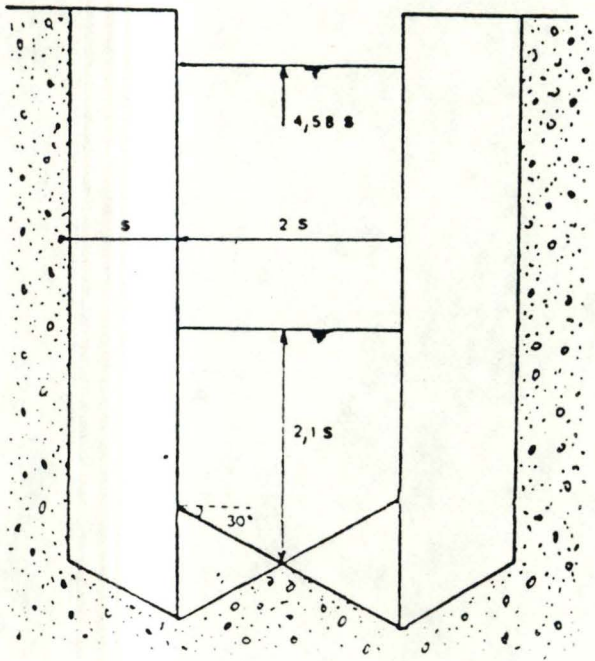


Fig. 41 : Echelle de type PILI (modifié d'après DENIL et NEMENYI in LARINIER, 1977).

L'équilibre est réalisé par l'intermédiaire de deux écoulements hélicoïdaux de part et d'autre du jet. Pour garder ce caractère tridimensionnel à l'écoulement, il est préférable de conserver un rapport écartement sur largeur de passe voisin de $2/3$, l'écoulement se transforme en un écoulement en cascade pour des valeurs de ce rapport supérieures à l'unité, cet écoulement en cascade forme un ressaut important préjudiciable à la remontée du poisson. Il est conseillé de prendre une grande largeur et une petite pente afin d'avoir un débit important, une résistance due à la pente sur le poisson (provenant de la composante du poids du poisson dans le sens de l'écoulement) plus faible et une meilleure utilisation possible des gradients de vitesse existants dans la passe. Il convient quelquefois d'ajouter un débit auxiliaire à l'entrée pour améliorer l'attractivité.

Le calage des passes à ralentisseurs plans exige une connaissance très précise des niveaux d'eau amont et aval, ce qui n'est pas toujours possible, il faut adapter leurs dimensions au débit admissible mais la largeur maximale est de 1,30 m.

Les passes à ralentisseurs plans conviennent dans les cas où les variations de niveau sont faibles, elles assurent une dissipation d'énergie suffisante tout en restant particulièrement simples d'exécution (BEACH, 1984 ; LARINIER, 1978).

2.1.2.4.10. Les passes à ralentisseurs de type FATOU (Fig. 40)

Les ralentisseurs sont de forme plus complexe mais les conditions d'utilisation sont identiques à celles de la passe à ralentisseurs plans, la valeur minimale du tiran d'eau h doit être de $0,4 L$ où L est la largeur de la passe (LARINIER, 1983)

2.1.2.4.11. Les échelles PILI à ailerons latéraux (Fig. 41)

Elles sont munies de déflecteurs en forme de soc de charrue prolongée latéralement par des ailerons que DENIL simplifia par la suite pour faciliter leur exécution. Ce type est peu utilisé mais très intéressant tant que la pente ne dépasse pas 25 %.

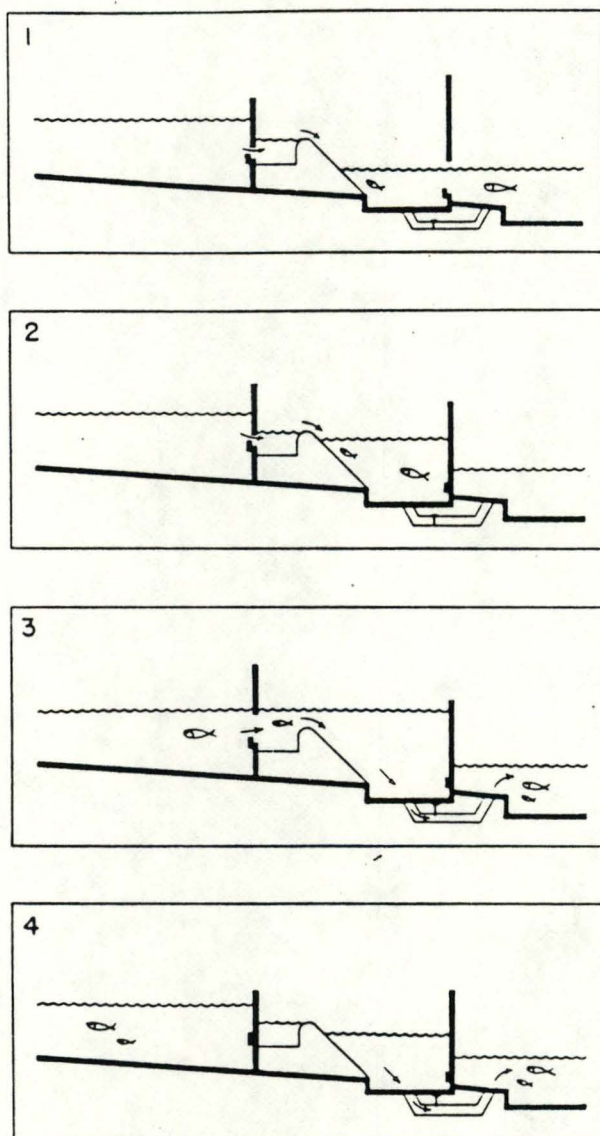


Fig. 42 : Les différentes étapes dans le fonctionnement d'une écluse à poissons (d'après DEELDER, 1958).

2.1.2.4.12. Les échelles CAMERE

Elles ralentissent l'écoulement de la veine liquide au moyen de veines liquides dirigés en sens inverse (de l'aval vers l'amont) grâce à des événements pratiqués à partir du fond et des côtés de la goulotte constituant la passe. Ces événements s'obstruent facilement par des corps flottants. (BACHELIER, 1965).

Les passes CAMERE sont trop vulnérables aux crues (LARINIER et TRIVELLADO, 1987).

2.1.2.4.13 Les passes avec des pierres ralentisseuses

Ce ne sont plus à proprement parler des échelles DENIL mais des passes dans le fond desquelles sont cimentées des pierres d'environ 10 cm de diamètre qui constituent des ralentisseurs (JENS, 1982).

2.1.2.5 L'écluse à poissons ou l'écluse BORLAND

Elle tient son nom de l'ingénieur irlandais BORLAND qui l'a mise au point, elle piège les migrateurs dans un sas puis les écluse comme le serait une embarcation dans une écluse de navigation.

Le fonctionnement d'une écluse à poissons sera décrite en prenant comme exemple celui de l'écluse installée au barrage de Lith sur la Meuse aux Pays-Bas (Fig. 42) (DEELDER, 1958) :

- 1ère étape : la vanne aval est ouverte et la vanne amont est manipulée de manière à ce que une petite quantité d'eau s'engouffre dans l'écluse, de ce fait, le poisson est fortement attiré et entre dans l'écluse pour se rassembler au pied du béton.
- 2ème étape : La vanne aval peut être fermée de manière à ce qu'il n'y ait plus d'eau qui quitte l'écluse et que celle-ci se remplisse. Quand le niveau d'eau dans l'écluse atteint celui du bief amont, la vanne amont est ouverte complètement.
- 3ème étape : de l'eau est siphonnée au pied de l'écluse par un by-pass vers le bief aval et est remplacé par un courant d'eau coulant depuis le bief amont ce qui incite les poissons à quitter l'écluse vers le bief amont et attire les poissons du bief aval près de l'entrée de l'écluse.

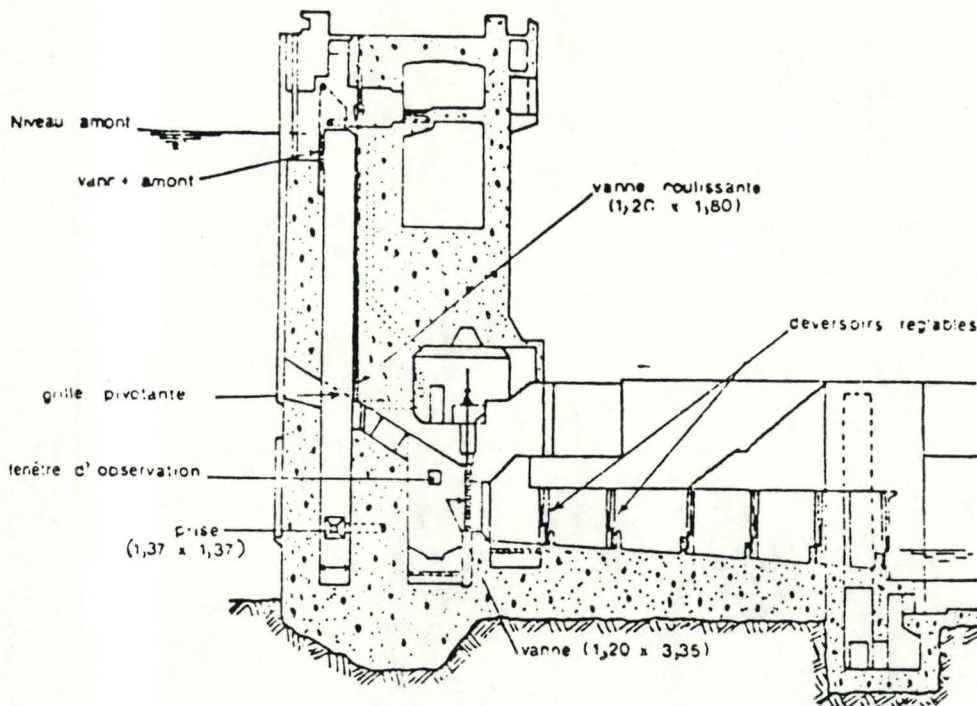
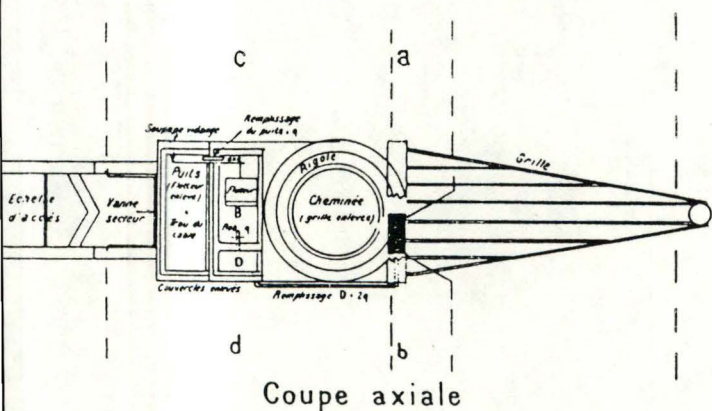


FIG 43 : Ecluse en charge du barrage de McNARY sur la rivière Columbia (d'après VON GUNTEN in LARINIER, 1977).

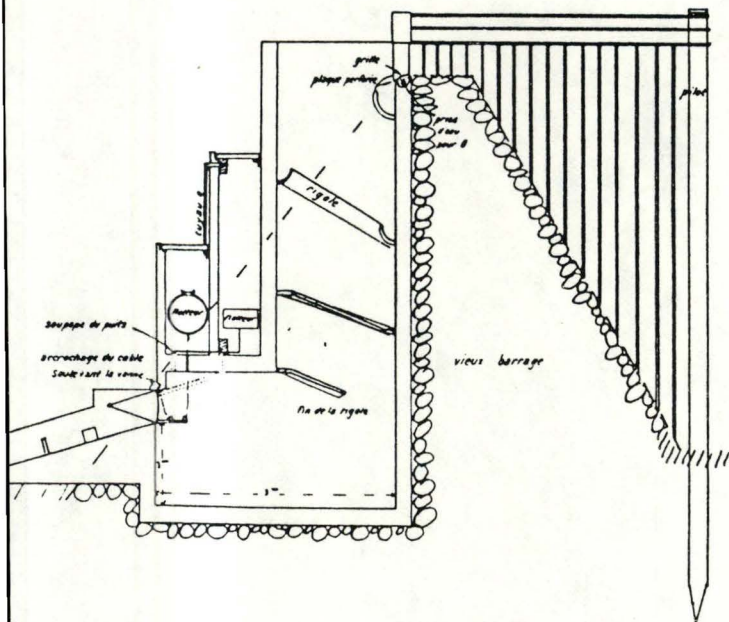
ÉCLUSE A POISSONS

PLAN ET ÉLÉVATION



Coupe axiale

Fig. 44 : Ecluse à poissons aménagée pour que l'eau arrive à une vitesse acceptable dans la chambre aval (d'après BACHELIER, 1953b)



- 4ème étape : quand il ne reste plus de poissons dans l'écluse, la vanne amont est abaissée complètement de manière à ce que l'écluse se vide par une décharge continue par le by-pass ce qui tient également les poissons du bief aval en attente ; finalement, quand l'eau a atteint dans l'écluse le niveau du bief aval, la barrière aval est réouverte et on recommence le cycle.

Ces étapes peuvent se faire manuellement ou être réglées automatiquement. Le cycle complet dure environ 3,5 heures (AITKEN et alii, 1966).

Les écluses peuvent se présenter, comme un canal ouvert telle celle de Lith ou, dans le cas de très grandes différences de niveaux, sous forme d'un canal tubulaire recouvert qui lie une chambre amont à une chambre aval, l'obscurité qui en résulte ne représente pas d'inconvénients majeurs (comme nous le verrons par la suite). Ce canal peut à l'extrême être un puits vertical ; dans les cas de dénivellations importantes ce puits est rempli à partie de la chambre aval par un tube provenant du bief amont et à embout crépiné pour dissiper l'énergie (LARINIER, 1977). On peut obliger le poisson à remonter le puits vertical et diminuer la durée de la phase de sortie grâce à un carrelet grillagé qui suit la remontée du plan d'eau lors du remplissage de l'écluse ; on peut également faire passer le poisson dans le bief amont très en dessous de la surface comme c'est le cas des écluses en charge où les deux sorties sont possibles (près de la surface ou éloignée de celle-ci) suivant la position d'une grille basculante (VON GUNTEN, 1956) (Fig. 43).

Il est nécessaire que les vitesses et les turbulences dans la chambre aval restent acceptables. Pour cela, BACHELIER (1953b) a prévu des rigoles de bois fixées de manière hélicoïdale sur les murs de la chambre aval (qui est dans ce cas en forme de cheminée) et permettant à l'eau d'atteindre le fond de cette chambre à une vitesse modérée grâce à une pente que s'atténue progressivement. (Fig. 44). Les écluses à poissons nécessitent un entretien plus fréquent que les autres passes vu les pièces en mouvement et donc les risques de défauts plus élevés (JENS, 1982).

Elles ne sont pas toujours automatisées et dans ce cas il est nécessaire d'affecter une à deux personnes à demeure pour opérer (parfois 16 heures par jour et chaque jour de la semaine) (BELL, 1984). Pour éviter tout risque d'encrassement ou d'obstruction des vannes, tout orifice ou tuyauterie sera précédé d'une crépine et pour empêcher simultanément le braconnage à la sortie de l'écluse et l'entrée des corps flottants à l'intérieur, une grille très robuste sera placée devant l'entrée de l'eau dans l'écluse et fixée de façon à ce que son enlèvement nécessite un long délai (pour éviter le braconnage) (BACHELIER, 1953 b). LARINIER (1983b) conseille d'éclairer la chambre inférieure afin d'assurer une transition au point de vue éclairément entre le milieu extérieur et l'écluse.

L'efficacité des écluses à poissons ne fait pas l'unanimité de tous les auteurs, ainsi, les observations faites notamment sur les écluses de la rivière Colombia aux U.S.A. montrent que les migrateurs, sauf l'esturgeon, préféreraient les passes à bassins et qu'ils étaient difficiles à attirer vers l'entrée et surtout à maintenir dans la chambre aval lors de la phase de piégeage ; si la chambre amont de l'écluse est trop grande, certains poissons peuvent y être encore lors de la vidange et redévaler vers la chambre aval au risque de se blesser. Selon CLAY (1961), les écluses à poissons n'ont qu'une faible capacité de passage comparée à celle des passes à bassins, à fentes verticales ou même à ralentisseurs, ceci est dû à leur fonctionnement discontinu ; ce n'est pas trop grave si les migrateurs en remontée ne dépassent pas quelques milliers d'individus.

Toutefois, selon DEELDER (1958), ce type de passe permet non seulement la migration aisée des saumons mais aussi des autres espèces présentes dans la Meuse y compris les spécimens les plus petits et les moins puissants, ce qui semblait loin d'être le cas pour les passes DENIL et les passes à bassins construites simultanément avec les barrages de la Meuse néerlandaise car celles-ci épuisent les poissons (surtout s'il y en a plusieurs à franchir), elles pourraient entraîner une sélection au niveau des sexes des migrateurs (chez le saumon atlantique Salmo salar L. 1758 notamment, l'intensité du désir de frai et la motivation pour la nage

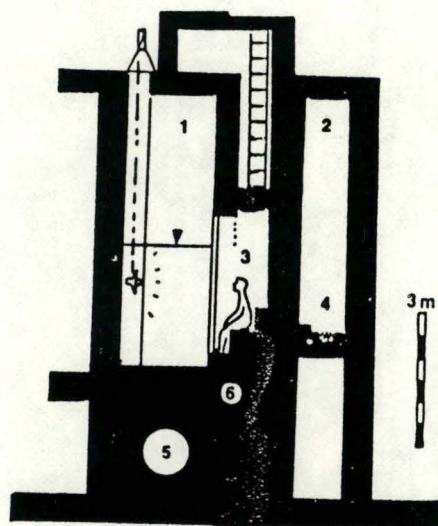


Fig. 45 : Ecluse à poissons munie d'une chambre d'observation
(d'après JENS, 1982).

est différente suivant les sexes) et réduisent le nombre de poissons capables d'atteindre les frayères en arrêtant les plus faibles. C'est pourquoi les passes à poissons du barrage de Lith sur la Meuse aux Pays-Bas ont été remplacées par une écluse à poissons malgré des coûts élevés. Des observations sub-aquatiques effectuées dans des salles conçues dans ces écluses à poissons (Fig. 45) ont permis de vérifier le passage de toutes les espèces, même des épinoches Gasterosteus aculeatus L. 1758, et de compter les individus.

Les écluses à poissons sont les ouvrages de franchissement préférés des esturgeons, elles peuvent fonctionner même par de très grandes variations de niveau du bief amont et aval et elles sont faciles à rendre inutilisables pour le braconnage. Lorsque les marnages en amont deviennent importants, plusieurs écluses ou plusieurs chambres installées en amont, situées à des niveaux différents, deviennent nécessaires (LARINIER, 1977). Elles sont particulièrement avantageuses dans le cas où la dénivellation à franchir excède 4 mètres, comme dans le cas de constructions hydroélectriques où de grandes différences de niveau sont requises et où les autres types de passes prendraient trop de place ; en effet, l'énorme avantage des écluses à poissons est que la hauteur de l'obstacle à franchir n'a plus d'importance pour les poissons (elle peut dépasser 60 mètres), ils ne fournissent plus d'efforts car ils sont portés par l'eau. Une écluse à poissons peut être installée dans le béton du barrage en construction sans entraîner de frais supplémentaires élevés, elle prélève peu d'eau pour son fonctionnement ce qui est important dans le cas d'une centrale hydroélectrique. Elle prend moins de place que les passes à bassins et peut être facilement installée sur un ouvrage déjà existant (BACHELIER, 1953a; MEALLAIN, 1951).

2.1.2.6. Les écluses de navigation

Celles-ci peuvent être aménagées, en vue de provoquer le passage des poissons, en créant des courants d'attrait pour faire entrer le poisson d'abord dans l'écluse puis dans le bief amont ; KIPPER et MILEIKO (1962) doutent cependant de l'efficacité des écluses à navigation aménagées.

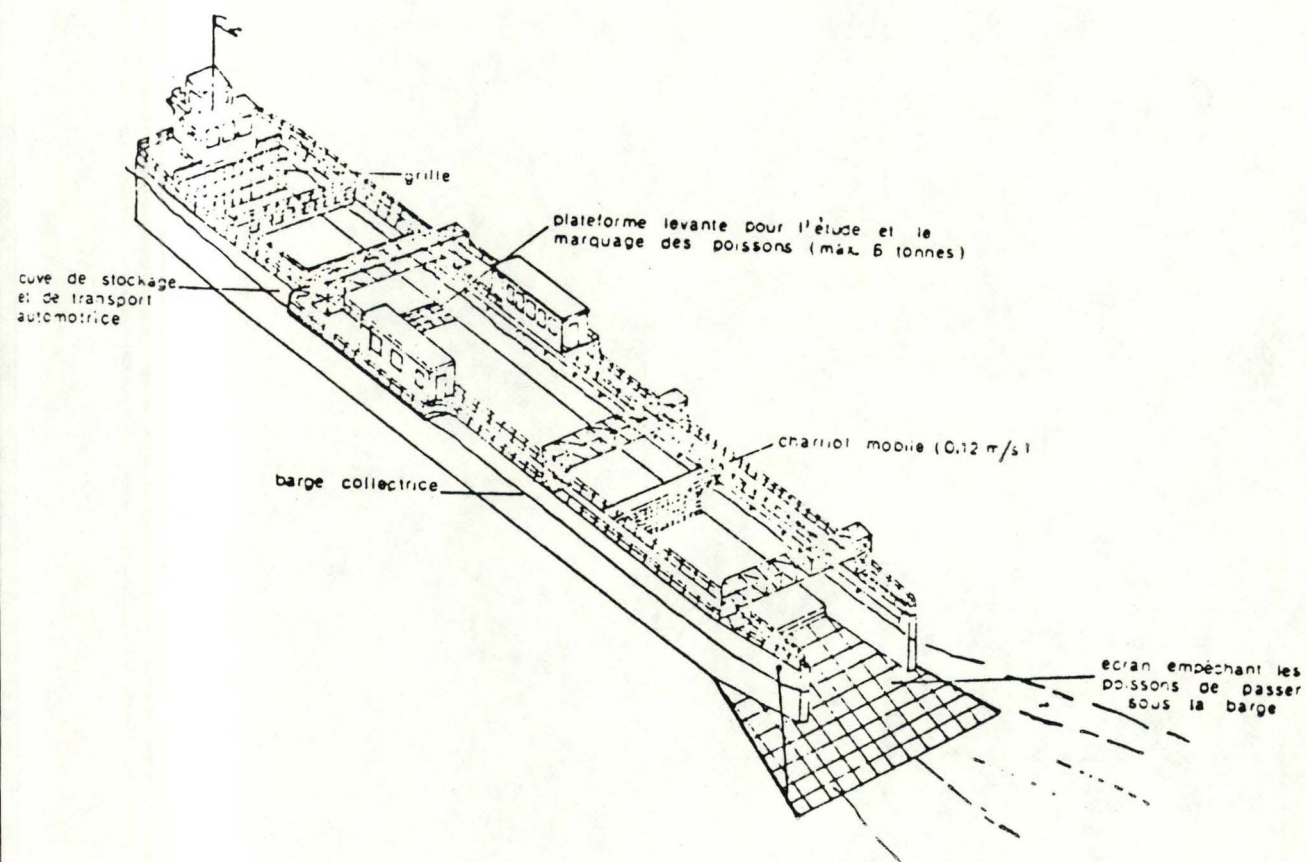


Fig. 46 : Schéma général d'une barge utilisée pour le transport des migrateurs à l'amont d'un barrage (d'après MALEVANCHIK, 1969 in LARINIER, 1977).

Selon DEELDER (1958), les écluses à navigation même non aménagées auraient permis de sauver de l'extinction de nombreuses espèces de la Meuse néerlandaise (sauf le saumon) lors de la construction des barrages et des passes à poissons non fonctionnelles de type DENIL et à bassins vers 1930. de GROOT et MUYRES (1980) font remarquer que le grand tirant d'eau des bateaux laisse peu de place aux poissons pour passer et le batillage peut à ces endroits affecter les poissons.

Les poissons peuvent aussi être piégés dans une barge flottante automotrice ancrée dans un canal de fuite puis sont ensuite transportés à l'amont par cette même barge grâce à l'écluse de navigation (MALEVANCHICK, 1969) (Fig. 46)

2.1.2.7. La capture et le transport des migrateurs à l'amont d'un obstacle

Certains dispositifs de franchissement consistent à attirer et à piéger les migrateurs dans une cuve au pied de l'obstacle, puis à les transporter et à les déverser à l'amont soit pas ascenseur, soit par camion. Le déversement peut se faire via une goulotte en bois close sur toutes les faces et qui plonge dans le bief supérieur 1,5 m en dessous du niveau légal pour éviter le braconnage. Pour l'attraction des migrateurs, on peut tirer parti du canal de fuite d'une éventuelle turbine.

2.1.2.7.1. Les ascenseurs à poissons

Ils conviennent pour le franchissement d'obstacles de hauteur importante à condition que le nombre de migrateurs ne soit pas trop élevé ; ils s'accroissent de marnage amont et aval très important (GROUPEMENT d'ANTONY, 1979) et ils s'imposent lors de marnage amont supérieur à 4 m (LARINIER, 1987).

On peut forcer les poissons à entrer dans la cuve grâce à un écran monté sur un charriot mobile ; la cuve peut être remplacée par un carrelet métallique plus léger et donc moins exigeant en énergie pour la remontée, mais ce carrelet expose les poissons à l'air pendant la durée de la remontée (qui se fait grâce à un moteur électrique) ; le fond oscillant du carrelet arrivé au sommet butte contre la goulette de façon à ce qu'il s'incline pour déverser

les poissons, le côté aval du carrelet est un volet mobile étendu sur le fond en position de capture et se relevant lorsque le treuil enroule la chaîne.

Une caméra placée au sommet de l'ascenseur permet de photographier le contenu du carrelet avant chaque déversement. Les poissons piégés dans la cuve de l'ascenseur passent obligatoirement à l'amont, ce qui n'est pas forcément le cas pour les poissons piégés dans la chambre aval d'une écluse BORLAND .

(GARDEBOIS, 1968). Comme dans le cas des écluses, on peut empêcher les migrateurs de sortir de la cuve une fois qu'ils y sont entrés grâce à des grilles anti-retour (LARINIER, 1983b)

Les désavantages des ascenseurs sont que la présence de nombreux organes mobiles augmente les coûts de maintenance et que le fonctionnement est dépendant d'un système électromécanique réglé par une minuterie, cette sophistication explique les défaillances parfois rencontrées (GARDEBOIS, 1968).

2.1.2.7.2. Le transport par camions

Cette méthode à l'avantage de pouvoir assurer une remontée de plusieurs kilomètres et de permettre alors le franchissement de plusieurs aménagements hydroélectriques ou autres obstacles (LARINIER, 1983a), on peut également s'en servir pour rétablir des populations dans d'autres rivières (LAYZER, 1979).

Il faut soulever cependant ici le désavantage de la mortalité des poissons dans la cuve de transport si le voyage est long. Des recherches menées sur le transport d'Alosa sapidissima (Wilson 1911) ont montré que cette mortalité est plus élevée lorsque la température de l'eau de la cuve de transport (qui est remplie avec celle de la rivière) est plus élevée, elle touche beaucoup plus les femelles que les mâles et augmente avec le nombre de poissons contenus dans la cuve (LAYZER, 1979).

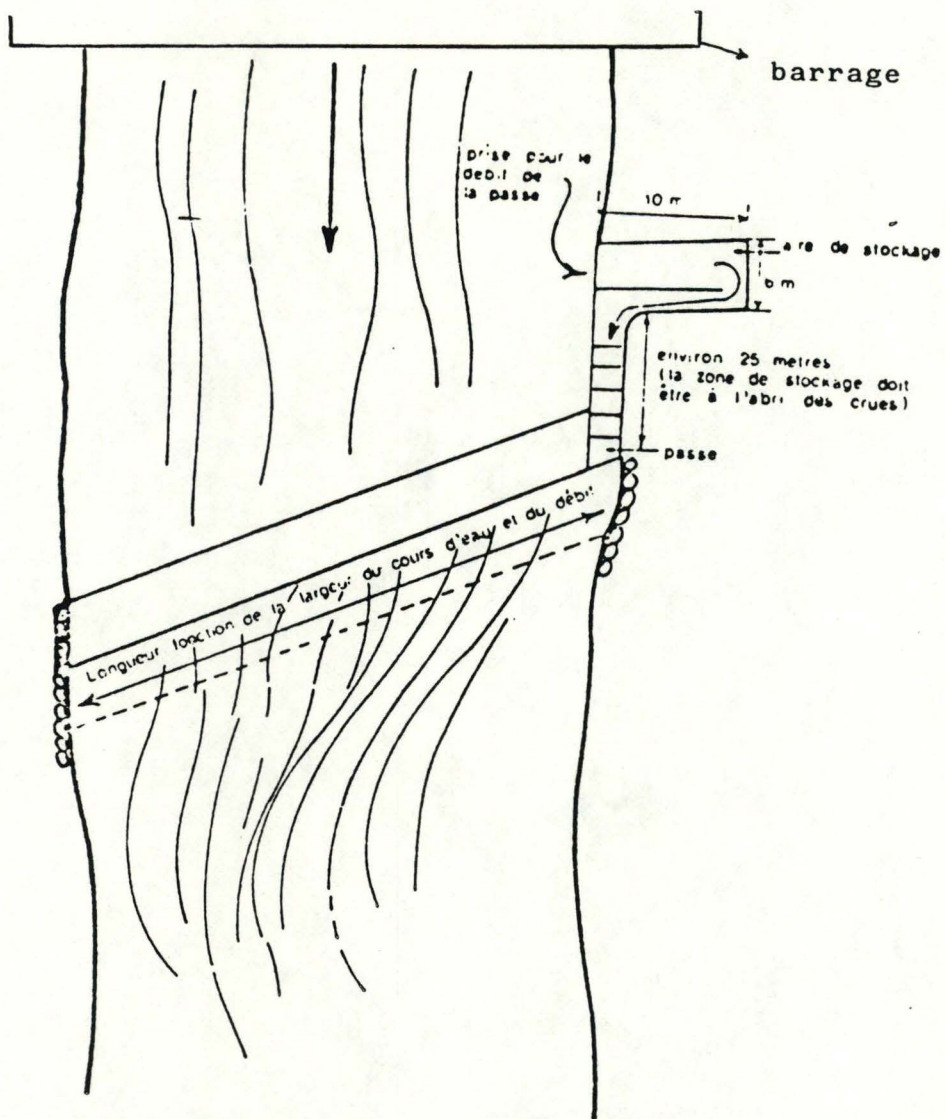


FIG 47 : Principe d'une barrière à migrateurs
 (modifié d'après BELL in LARINIER, 1977).

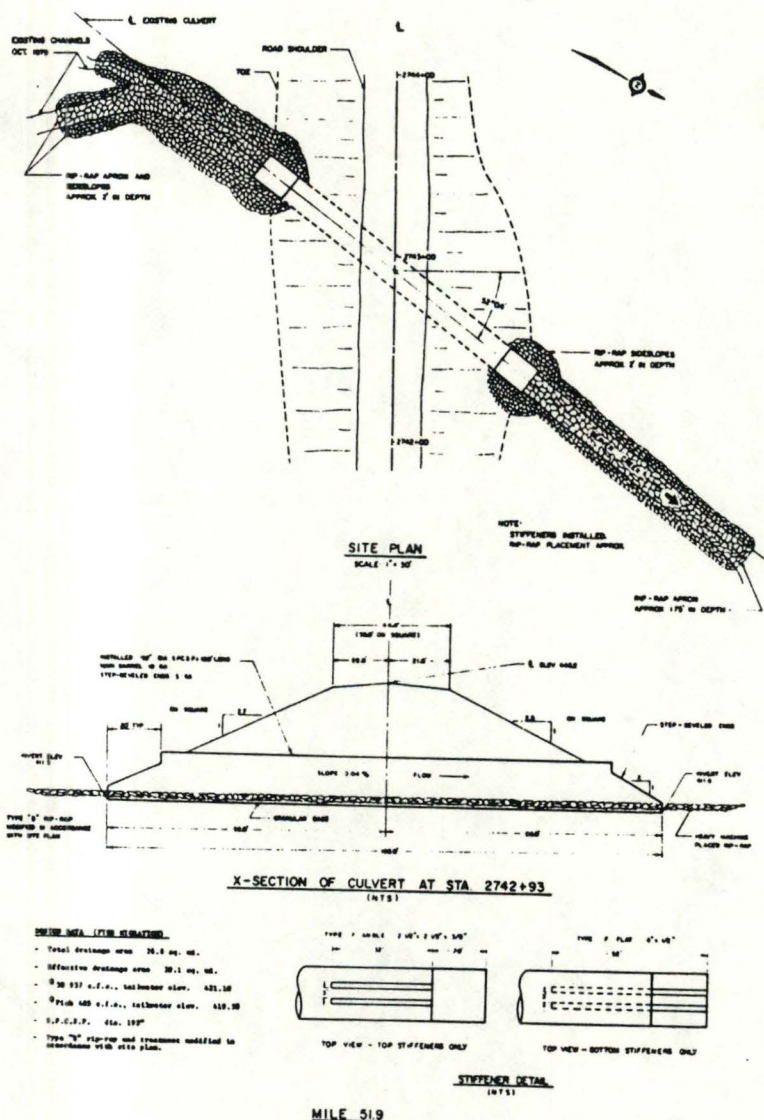


Fig. 48 : Plan du site d'installation d'un ponceau (d'après Mc KINNON et HNYTKA, 1985).

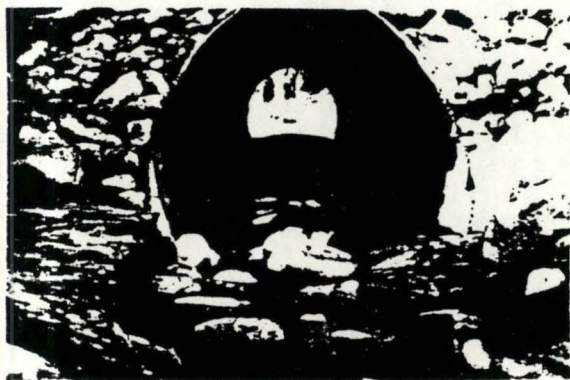


Fig. 49 : Vue d'un tributaire passant à travers un ponceau aménagé (d'après Mc KINNON et HNYTKA, 1985).

2.1.2.8. Les barrières à migrateurs

On peut construire à l'aval de barrages de hauteur importante une barrière de hauteur plus réduite offrant des conditions d'entrée plus optimales. La figure 47 montre une barrière à migrateurs placée en biais dans une rivière qui guide le migrateur vers un bassin de stockage d'où il est transporté par téléphérique ou par camion (BELL, 1973).

2.1.2.9. Les passes aménagées dans les ponceaux

Les ponceaux sont des ouvrages voûtés de petite importance, construits sur des ruisseaux pour le franchissement des ravins étroits ou pour l'écoulement des eaux superficielles (Fig. 48 et 49). Au Canada, certains de ces ponceaux sont enjambés par des autoroutes (comme l'autoroute Liard), leur pente est forte et les conditions d'écoulement des tributaires qui y passent sont défavorables à la progression des espèces migratrices. On a donc placé des pierres concassées qui jouent le rôle de ralentisseurs et recréent les conditions naturelles d'eau peu rapide que rencontre le poisson dans sa migration. On a constaté que ces pierres laissaient aussi passer entre elles, par temps froid, l'eau et les poissons migrateurs qui s'y déplacent sous la glace qui se forme. Les pierres ne doivent pas être couvertes de sédiments sinon elles ne réussissent plus à réduire la vitesse du courant. (Mc KINNON et HNYTKA, 1985). On peut aussi aménager des déflecteurs de formes diverses ce qui ne semble pas augmenter les problèmes d'entretien (KATOPODIS, 1985). Remarquons que les aménagements de ponceaux sont surtout faits en fonction des Salmonidés.

2.1.2.10. Les passes à anguilles

Les anguilles ont pour caractéristique de migrer surtout la nuit et d'avoir une vitesse de nage réduite. Elles supportent un long séjour à l'air car elles sont protégées de la dessiccation grâce à leur peau épaisse et à leurs ouvertures branchiales étroites. Elles peuvent également se déplacer à l'air libre pourvu qu'elles trouvent un appui convenable (MUUS et DAHLSTROM, 1967).



Fig. 50 : Anguille se déplaçant sur un fagot disposé à cet effet (d'après JENS, 1982).

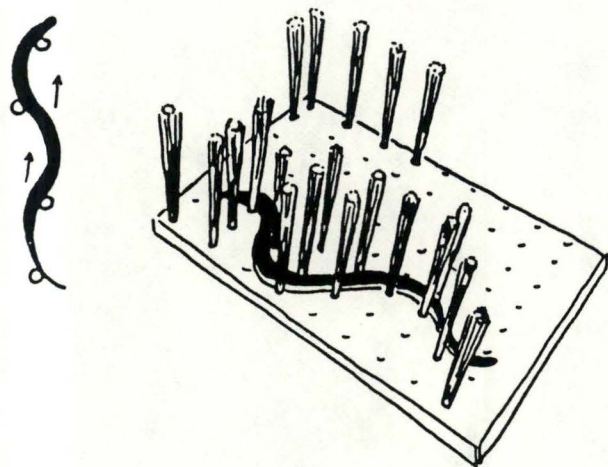


Fig. 51 : Touffes de poils adaptées à faciliter la progression de l'anguille (d'après JENS, 1982).

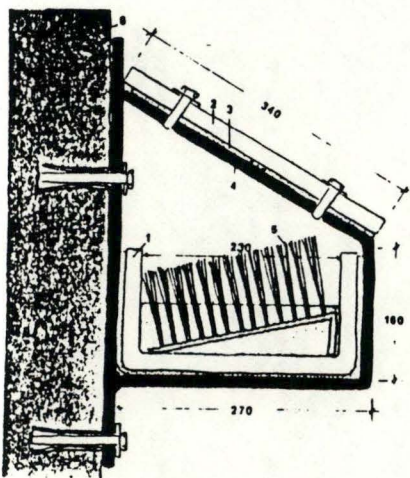


Fig. 52 : Planche avec touffes de poils laissant le choix de la profondeur d'eau (d'après JENS, 1982).

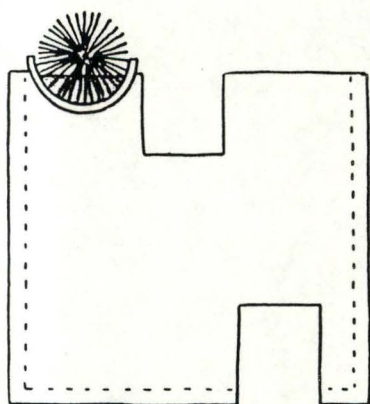


Fig. 53 : Brosse pour anguilles installée sur une passe à bassins de type mixte (d'après JENS, 1982).

2.1.2.10.1. La passe rustique aménagée (Fig. 50)

Pour le passage des civelles, on peut mettre dans une passe rustique des fagots de branchages ou de bruyères entourés d'un grillage et placés de telle sorte qu'un filet d'eau s'écoule entre les branches sur lesquelles les civelles prennent appui.

(JENS, 1982 ; LARINIER, 1977).

2.1.2.10.2. Les touffes de poils

On peut aider le passage des anguilles grâce à des touffes de poils verticaux plantés sur des planches ce qui est plus efficace que la disposition précédente car l'anguille progresse d'une manière serpentiforme en prenant appui sur ses flancs et en poussant suivant une direction longitudinale (Fig. 51) ; de plus, les planches peuvent être disposées obliquement dans une passe afin que l'anguille choisisse la profondeur et la vitesse de l'eau et qu'elle ait aussi la possibilité de passer par en-dessous de la planche (Fig. 52), cette passe peut être juxtaposée à une passe classique, l'entrée étant située très près de la rive (que les anguilles suivent lors de la migration) et devant être accessible même aux eaux basses (JENS, 1982).

2.1.2.10.3. La brosse à bouteille géante

Une sorte de grande brosse à bouteille posée sur une conduite en éternit semi-circulaire et parcourue par de l'eau à faible vitesse présente l'avantage de pouvoir être installée sur les passes à poissons d'un autre type (exemple : Fig. 53 : la brosse est installée sur une passe à bassins de type mixte où l'échancrure est déportée un peu vers le milieu), elle peut aussi être installée à côté de ces passes en prévoyant des ouvertures pour faire passer de l'eau dans la goulotte à anguilles (JENS, 1982).

Les trois types de passes à anguilles décrits ci-dessus peuvent atteindre une pente de 100% mais mieux vaut se contenter d'un maximum de 58% ; leur encombrement est peu important, 30 cm de hauteur et de largeur étant suffisant ; elles assurent un pourcentage de bonnes remontées important comme l'attestent les comptages effectués à Geestacht, Lith et Belfeld aux Pays-Bas et à Amerongen sur le Rhin. Chaque année, quelques centaines de milliers (Amerongen) à quelques millions de petites anguilles remontent en utilisant les goulettes (de GROOT ET MUYRES, 1980 ; PELZ, 1985).

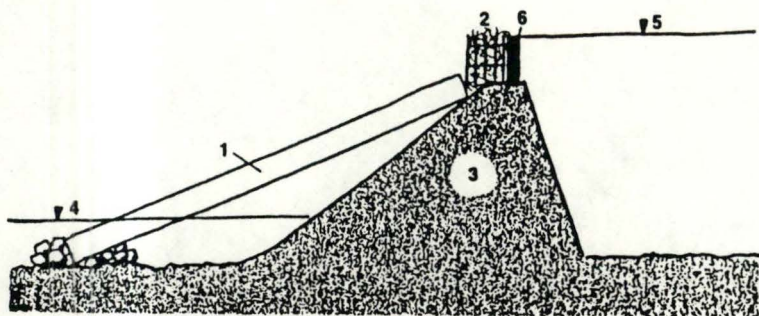


Fig. 54 : Rigole permettant aux anguilles de franchir un petit obstacle (d'après JENS, 1982).

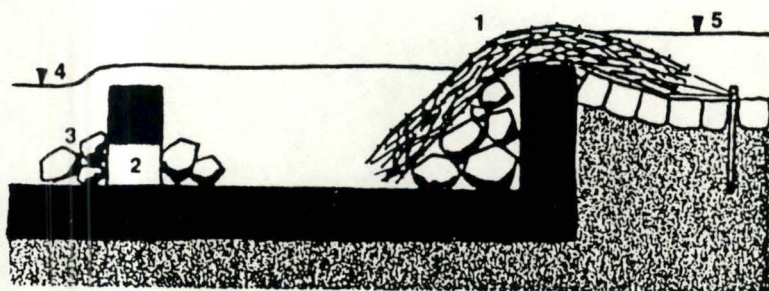


Fig. 55 : Matelas de fagots servant de passe à anguilles (d'après JENS, 1982).

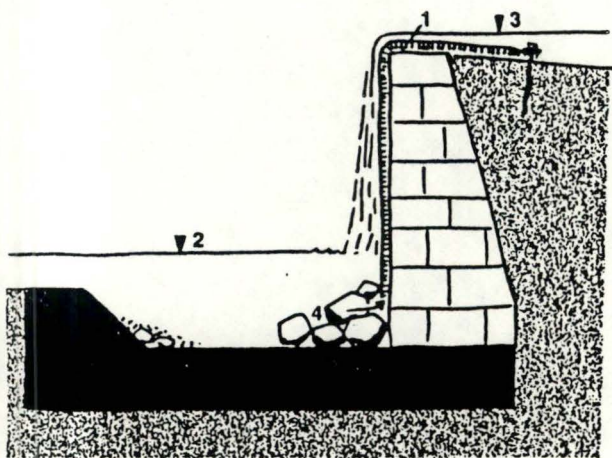


Fig. 56 : Tapis de poils permettant aux anguilles de franchir un radier de barrage vertical (d'après JENS, 1982).

2.1.2.10.4. Les écluses à poissons

Les écluses à poissons constituent en elles-même de bonnes passes pour les anguilles de toute taille mais on préfère en général leur ajouter des passes qui leur sont spécifiquement destinées comme dans le cas de l'écluse à poissons de Lith sur la Meuse aux Pays-Bas et de Amerongen sur le Rhin en Allemagne Fédérale (de GROOT et MUYRES , 1980).

2.1.2.10.5. Les rigoles (de planche ou creusées)

Un autre modèle de passes à anguilles consiste en une rigole de 25 x 25 cm faite de 3 planches clouées qu'on remplit de matériel pour grimper et qu'on alimente avec un peu d'eau, le matériel est fixé par des lattes dans la rigole pour l'empêcher de glisser ; la rigole mène en son sommet à un panier rempli de matériel pour grimper (tel des fagots de branchages de bouleau ou d'osier, de la matière synthétique, de la paille, des bûches, des pierres) qui permet aux anguilles de franchir la vanne (Fig. 54), elle peut être munie d'un dispositif faisant tomber les anguilles dans un bassin avant leur arrivée en amont ce qui permet de les compter ou de les transporter ailleurs (JENS, 1982).

Sur le Saint-Laurent, le barrage hydroélectrique de Cornwall, en Ontario, est muni d'une échelle à anguille fixée sur le parement bétonné et incliné à 70° d'une écluse prévue pour les blocs de glaces flottants printaniers ; cette échelle est une rigole de bois de 30 cm de large et 25 cm de haut disposée en zigzag sur le parement et est équipée de bassins de repos à chaque tournant ; sur le fond de l'échelle sont cloués des blocs de bois de 5 cm de côté et 17,7 cm de long, situés en alternance d'un bord à l'autre de l'échelle, espacés l'un de l'autre et inclinés de 45° par rapport au bord, leur rôle est de modérer la vitesse de l'eau et d'assurer que l'eau couvre toute la longueur de l'échelle. Cette conception est très efficace et peu coûteuse (WHITFIELD et KOLENOSKY, 1978).

La rigole en bois peut être remplacée par une autre rigole creusée dans le parement aval s'il est fort incliné (JENS, 1982).

2.1.2.10.6. Les gros matelas de fagots (Fig. 55)

On peut disposer sur le barrage un matelas de fagots emballé entre deux couches de treillis métalliques, fixé par une barre dans l'eau d'amont et soutenu par des pierres dans l'eau d'aval ; les anguilles prennent appui sur ce fagot pour remonter (JENS, 1982).

2.1.2.10.7. Les tapis de poils

On peut couvrir un radier de barrage d'un tapis de longs poils (Fig. 56) avec les poils tournés vers le mur, le tapis étant fixé par des pierres ; ce système permet aux anguilles de franchir un mur très raide mais nous ignorons les détails de la fabrication (JENS, 1982).

2.1.2.10.8. Les tuyaux de PVC

On peut encastrer dans un barrage un tuyau de 20 à 30 cm de diamètre rempli de brindilles fixées à une chaîne, ce système demande un débit faible mais il se bouche facilement et nécessite un entretien continu (JENS, 1982).

En Nouvelle-Zélande, au barrage du Lac Waikare, on utilise des tuyaux de PVC de 15 cm de diamètre bourrés de brosses de soies ce qui permet une ascension presque verticale des anguilles ; le système est simple, très bon marché et très efficace, le forage dans le béton se fait avec une scie à diamants et l'alimentation en eau par une pompe (MITCHELL, 1984).

Ces mêmes tuyaux de PVC peuvent être utilisés pour gravir de très gros barrages en les fixant sur le parement aval de celui-ci suivant un parcours en zig-zag mais les tuyaux doivent être ombragés pour que le soleil ne fasse pas dangereusement monter la température (MITCHELL, 1986).

2.2. Considérations pratiques concernant le choix d'un type de passe et les conditions d'implantation

Pour installer une passe, il convient de considérer des facteurs d'ordre biologique d'une part et physique d'autre part, les conditions à remplir sont en effet très nombreuses. Nous tenterons de les résumer d'après Mc LEOD et NEMENYI (1940) et KATOPODIS (1981).

Une passe à poissons doit :

- contrôler la vitesse de l'eau en dessous des capacités de nage du poisson (et en tenant compte de son comportement).
- éviter les changements rapides dans les lignes de flux de l'eau.
- fournir un espace libre visuel et physique.
- fournir des régions de repos autant qu'il est nécessaire.
- décharger suffisamment d'eau pour attirer le poisson.
- posséder une entrée pour le poisson bien localisée.
- posséder une sortie ne risquant pas de renvoyer le poisson vers l'aval.
- être économique de construction et d'entretien.
- agir sans interférence de la part des sédiments et des débris.
- ne pas requérir plus d'eau que disponible.
- permettre un passage des poissons dans un délai minimal.

Nous allons soulever ici les principaux aspects à prendre en compte.

2.2.1. La vitesse de l'eau et la hauteur des chutes successives

Le poisson ne doit en aucun point rencontrer un courant d'une vitesse supérieure à sa capacité de nage. La réduction de la vitesse de l'eau doit être telle que l'espèce la moins bonne nageuse, parmi celles à protéger, soit capable de l'effort de remontée. Il faut pour cela retenir les capacités des individus moyens, et même de ceux qui sont plutôt en dessous de cette moyenne, pour que seule la minorité la plus réduite soit refoulée à cause de la faiblesse relative des individus.

La hauteur des chutes ne doit pas dépasser la possibilité de saut du poisson.

Les poissons doivent aussi disposer d'une profondeur d'eau suffisante pour prendre un "appel" au pied d'un obstacle (LARINIER, 1977). Pour JENS (1982), cette profondeur doit être au moins de 1 m pour les gros migrateurs et de 60 cm pour les autres. Il faut savoir que plus la profondeur disponible pour le poisson pour prendre son élan est grande, plus la trajectoire de départ du poisson se rapproche de la verticale et donc plus la hauteur pouvant être atteinte par le poisson est importante. Notons que le poisson évite de sortir de l'eau en un point trop rapproché de la chute et encore trop remué par les remous ; lorsqu'il saute, il profite de la faible résistance de l'air par rapport à l'eau.

Un poisson qui saute hors de l'eau peut fournir un effort instantané égal à une certaine proportion de son poids, ce rapport est de 1,2 pour le saumon, 1,4 pour la truite et 1,0 pour le poisson blanc ; la hauteur de dénivellation entre deux bassins ΔH devrait ainsi être proportionnelle à la longueur du poisson (L).

$$\text{Pour le saumon : } \frac{\Delta H}{L} = 0,24$$

$$\text{Pour la truite : } \frac{\Delta H}{L} = 0,28$$

$$\text{Pour le poisson blanc : } \frac{\Delta H}{L} = 0,20$$

Ces valeurs sont à multiplier par 3 dans le cas d'une passe à orifices à la Borda (MICHEL et NADEAU, 1965).

Chez un poisson on peut distinguer 3 niveaux d'activité durant la nage correspondant à 3 vitesses différentes :

- vitesse de croisière (cruising speed) : elle est susceptible d'être maintenue pendant des heures sans modifications physiologiques profondes de l'organisme car les muscles se contractent seulement quand de l'oxygène est disponible aux cellules à un taux au moins égal à celui avec lequel il est utilisé (activité aérobie), c'est pourquoi une limitation en O_2 dissous diminue les performances. La vitesse de croisière sert aux déplacements usuels (BELL, 1973 ; BEACH, 1984).

- vitesse soutenue (sustained speed) : elle peut être maintenue pendant plus de deux minutes, elle entraîne la fatigue du poisson et elle sert au passage à travers les zones les plus difficiles (rapides...). C'est aux alentours de cette vitesse que la vitesse de l'eau dans la passe doit être maintenue et ce pour les migrateurs les moins vigoureux (BELL, 1973 ; KATOPODIS et alii, 1978).

- vitesse de pointe ou de sprint (darting speed ou burst speed) : c'est la vitesse résultant d'un effort violent ne pouvant être maintenu que de quelques secondes à 15 secondes, elle est utilisée pour fuir ou chasser (BELL, 1973 ; CLAY, 1961 ; COLLINS, 1976 ; DECKER, 1967 ; WHITE et PENNINO, 1980) ou franchir un obstacle de faible hauteur. Chez les poissons capables de saut, elle peut être estimée par

$$v = \frac{\sqrt{2gh}}{\sin \alpha}$$

h = hauteur du saut. en m.

α = angle d'inclinaison de la trajectoire du poisson à sa sortie de l'eau.

v = vitesse de pointe. en m/sec.

(BEACH, 1984 ; KATOPODIS, 1981 et 1985 ; LARINIER, 1977).

L'énergie requise pour atteindre la vitesse de pointe est fournie par des processus anaérobiques.

Entre chaque niveau de nage existe une petite zone de transition. Notons que ce classement des différents niveaux de vitesse ne fait pas l'unanimité de tous les auteurs, nous nous sommes contentés d'adopter celui utilisé le plus fréquemment dans la littérature récente.

Pour avoir une estimation de la vitesse de nage ne dépendant plus de la longueur de l'individu mais seulement de l'espèce, on utilise la vitesse de nage spécifique en longueurs par seconde (L/sec.); on admet généralement les valeurs de 6 à 13 L/sec. pour la vitesse de pointe des Salmonidés, 3 à 4 L/sec. pour leur vitesse de croisière (BLAXTER, 1969), 4 à 9 L/sec. pour la vitesse de pointe des principales autres familles (Cyprinidés, Clupéidés, Percidés et Esocidés), 2 à 3 L/sec. pour leur vitesse de croisière (WEBB, 1975).

Les vitesses de nage et les hauteurs de saut possibles pour différentes espèces de poissons sont reprises dans le tableau 1.

Le tableau 1 a été établi d'après DENIL (1938), JENS (1982), KREITMANN (1932), LACHADENEDE (1958), LARINIER (1977) et WEBB (1975)

Tableau 1. Vitesse de nage et hauteur de saut possibles pour les différentes espèces de poissons.

Famille et espèces de poissons	Vitesse de pointe (m/sec)	Vitesse de croisière (m/sec)	Hauteur de saut (m)	Auteurs
<u>Famille des Acipenséridés</u>				
Esturgeon <u>Acipenser sturio</u> L. 1758	2	-	-	FRISCHHOLTZ
<u>Famille des Clupéidés</u>				
Alose américaine <u>Alosa sapidissima</u> WILSON 1811 (adulte)	4,5 -	- 1,2 à 1,4	- -	BELL LARINIER
Gaspereau <u>Alosa sapidissima</u> WILSON 1811 (juvénile)	3,6	-	-	BELL
<u>Famille des Salmonidés</u>				
Saumon <u>Salmo salar</u> L. 1758	7,0 à 9,3 6,0 à 7,0 - 2 8,0 (*) 6,5	- - 0,21 - - -	- - 0,7 à 0,8 1 à 1,7 - 2 à 3	BAINBRIDGE BELL CHAMBERLAIN FRISCHHOLTZ KREITMANN LACHADENEDE
Truite <u>Salmo trutta</u> L. 1758	9,8 4 2 4 4,4	- - - - -	- - 0,7 à 0,8 - -	ANONYME FISCHWALD FRISCHHOLTZ KREITMANN KREITMANN
Truite "steelhead" <u>Salmo gairdneri</u> RICHARDSON 1836	8,1 8	- -	- -	ALABASTER BELL
Truite arc-en-ciel <u>Salmo gairdneri</u> RICHARDSON 1836	4,4 0,8 de 15 cm de long de 30 cm de long de 45 cm de long de 60 cm de long	- - - - - -	- - - - - -	BAINBRIDGE WEBB BAINBRIDGE BAINBRIDGE BAINBRIDGE BAINBRIDGE

Famille et espèces de poissons	Vitesse de pointe (m/sec)	Vitesse de croisière (m/sec)	Hauteur de saut (m)	Auteurs
<u>Famille des Esocidés</u>				
Brochet <u>Esox lucius</u> L. 1758	6,4 à 7,3 2,6 à 2,8 0,4 à 0,6 0,45 0,45	- - - 0,25 -	- - - - -	ANONYME BAINBRIDGE KREITMANN " "
<u>Famille des Cyprinidés</u>				
Gardon <u>Rutilus rutilus</u> (L. 1758)	- 1,12 à 1,14	0,18 -	- -	JENS OHLMER
Chevesne <u>Leuciscus cephalus</u> (L. 1758)	3,6 1,75 2,5 2,7	- 0,45 à 0,60 - -	- - - -	BAINBRIDGE KREITMANN " "
Blageon <u>Leuciscus souffia</u> RISSO 1826	1,80	-	-	KREITMANN
Rotengle <u>Rutilus erythrophthalmus</u> (L. 1758)	0,75 à 0,83	-	-	OHLMER
Tanche <u>Tinca tinca</u> (L. 1758)	0,40 à 0,60 0,50	- 0,35	- -	KREITMANN KREITMANN
Hotu <u>Chondrostoma nasus</u> (L. 1758)	3,5	-	-	KREITMANN
Barbeau <u>Barbus barbus</u> (L. 1758)	2,2 2,4 2,5 2,7	0,5 - - -	- - - -	KREITMANN " " "
Ablette <u>Alburnus alburnus</u> (L. 1758)	1,0 à 1,5 0,6 0,4 à 0,6	- - -	- - -	FRISCHHOLTZ KREITMANN "
Brème <u>Abramis brama</u> (L. 1758)	0,40 à 0,60 0,65 0,8 à 1,0 -	- 0,35 - 0,4	- - - -	KREITMANN KREITMANN OHLMER PERMITIN
Carassin doré <u>Carrassius auratus</u> (L. 1758)	0,5 0,97 0,5	- - -	- - -	BAINBRIDGE SCHIEMENZ SMIT et alii(1971)
Carpe <u>Cyprinus carpio</u> L. 1758	2,5 0,40 0,40 0,40 - 0,60	- - 0,30 -	- - - -	BLAXTER et BELL KREITMANN " "

Tableau 1 (suite)

Famille et espèces de poissons	Vitesse de pointe (m/sec)	Vitesse de croisière (m/sec)	Hauteur de saut (m)	Auteurs
<u>Famille des Ictaluridés</u> Poisson-chat <u>Ictalurus melas</u> (RAFINESQUE, 1820)	0,70	-	-	ANONYME
<u>Famille des Anguillidés</u> Anguille <u>Anguilla anguilla</u> (L. 1758) adulte	1,14 - 1,5 -	- 0,15 - 0,15	- - - -	BLAXTER MANN et LUHMANN ROSENGARTEN TRYBORN
jeune	1 0,6 à 1,3 -	- - 0,15	- - -	LARINIER ROSENGARTEN SCHIEMENZ
anguille transparente	-	0,61 à 0,75	-	MEYER - WAARDEN
<u>Famille des Mugilidés</u> Muge cabot <u>Mugil cephalus</u> L. 1758	1,8	-	-	PYATETSKIY
<u>Famille des Percidés</u> Perche <u>Perca fluviatilis</u> L. 1758	0,40 à 0,60 0,60 1,08 à 1,28	- 0,30 -	- - -	KREITMANN KREITMANN OHLMER
Sandre <u>Stizostedion lucioperca</u> L. 1758	1,53 à 1,82 -	- 0,5	- -	OHLMER PERMITIN

* Cette valeur est valable pour un saumon venant de quitter la mer. En effet, pour ce poisson, il convient de diminuer la vitesse de pointe au fur et à mesure qu'il s'éloigne de la mer car sa vigueur est altérée par la remontée qu'il a déjà effectuée, par l'élaboration de ses produits sexuels et par la traversée des sections polluées (DENIL, 1938).

Tableau 2. Facteurs qui influencent les capacités de saut et de nage des poissons (d'après AASERUDE, 1985).

Facteurs	Influences	Références
Espèce de poissons	Variable	BELL (1973) JONES et alii (1974)
Souche de poissons	Variable	VINCENT (1960)
Taille du poisson	Capacités accrues avec une taille accrue	FRY et COX (1970) BRETT et GLASS (1973)
Saison (maturité sexuelle, condition).	Réduction dans les capacités avec le temps.	IDLER et CLEMENS (1959) SAKOWICZ et ZARNECKI (1962)
Géométrie du site Hydraulique	Des conditions optimales, qui facilitent les sauts efficaces, existent.	STUART (1962) WEBSTER (1965)
Température de l'eau	Une gamme optimum existe, en dessous et au-dessus de laquelle les performances sont réduites.	BRETT et alii (1958) GRIFFITHS et ALDERDICE (1972)
Eclairage	Les sauts sont plus efficaces sous certaines conditions lumineuses.	STUART (1962)

Les performances de la vitesse de nage des poissons sont influencées par la taille, l'espèce, la teneur en O_2 dissous, la température de l'eau (LARINIER, 1977) et des facteurs biologiques. Les vitesses de croisière et les vitesses soutenues montrent une plus grande variation que les vitesses de pointe en fonction des facteurs biotiques et des espèces. Le tableau 2 fait le point sur l'influence des différents facteurs biotiques ou abiotiques susceptibles d'affecter les capacités de nage ou de saut des poissons.

2.2.1.1. Influence des espèces

En regardant le tableau 1, on peut constater de grandes divergences entre les différents auteurs pour certaines espèces. Ceci s'explique par les différentes méthodes utilisées pour les mesures. Il est très probable que la vérité se situe entre les valeurs extrêmes avancées. Peu de données ont été obtenues en ce qui concerne les hauteurs de saut à cause probablement des difficultés que posent les méthodes de mesure expérimentale. Notons que, à l'exception de Alosa sapidissima (Wilson 1811), la vitesse de croisière des poissons appartenant aux espèces pour lesquelles nous avons des données ne dépasse pas 1 m/sec.

La famille des Salmonidés possède assurément la vitesse de pointe la plus élevée. Nous ne possédons des données sur la hauteur du saut que pour cette famille,

La famille des Cyprinidés présente des valeurs de vitesse maximale beaucoup plus modeste, surtout dans le cas de la tanche et de la carpe. Le chevesne, le hotu et le barbeau peuvent tout de même atteindre des vitesses respectables.

En ce qui concerne la vitesse de l'eau dans les passes, celle-ci doit être généralement comprise entre 0,15 et 0,60 m/sec pour les poissons anadromes (BELL, 1973 ; CLAY, 1961 ; DECKER, 1967). Pour les poissons migrateurs d'eau douce holobiotiques, une valeur de 0,15 à 0,30 m/sec est conseillée. Ces valeurs devraient permettre aux nageurs les plus faibles de ces espèces de franchir la passe (KATOPODIS, 1981). La vitesse de l'eau que le poisson peut surmonter varie linéairement avec le logarithme de la distance à parcourir. Cette relation linéaire a évidemment une pente négative, ceci fournit une contrainte importante à la longueur d'une passe DENIL où un effort de nage continu est demandé.

La manière dont les poissons utilisent leur énergie varie beaucoup selon les espèces, nous citerons ici quelques comportements relevés à ce sujet par KREITMANN (1932) :

- la carpe fait des efforts très vigoureux, mais elle ne les soutient pas.
- la perche maintient avec constance sa lutte contre le courant.
- la tanche déploie peu d'énergie.
- la brème est pleine d'énergie mais elle ne résiste pas longtemps.
- l'ablette combat jusqu'à épuisement complet.
- le barbeau et le chevesne sont les plus vigoureux mais un effort prolongé diminue leur résistance même après une longue période de repos
- la truite est une excellente nageuse.
- le hotu est un bon nageur.

Notons également que les vitesses de courant que les espèces sont capables de surmonter dépend beaucoup du comportement qu'elles adoptent face à ce courant et pas seulement des vitesses-limites qu'elles sont capables de déployer. Il faut en tenir compte au vu du tableau 1 car certains auteurs (tel KREITMANN) ont estimé la vitesse de pointe en observant la capacité de se maintenir dans un courant d'une vitesse déterminée. Cette méthode risque de mal estimer la valeur réelle de la vitesse-limite de nage car elle ne peut tenir compte valablement des changements de la motivation, de la combativité et d'autres facteurs comportementaux suivant les conditions du milieu.

Faisons également remarquer que dans une passe à poissons où l'eau dévale d'une manière fortement inclinée, les vitesses de pointe des poissons n'ont aucun rapport avec celles atteintes dans un courant à surface sensiblement horizontale. En effet, tout corps immergé dans une eau courante à surface inclinée subit, en plus de l'action du fluide en mouvement, une action supplémentaire indépendante de la vitesse de l'eau. Cette action serait égale au produit du poids du liquide déplacé par la valeur de la pente de la surface de l'eau (principe hydraulique de DUBUAT). Cet effet est négligeable dans le cas d'un cours d'eau naturel. Ainsi la Meuse en crue n'ayant qu'une pente maximale de 30 cm par kilomètre n'ajouterait, comme entrave à la progression du poisson, qu'une force égale à 0,03 % du poids de ce poisson (en supposant que la masse volumique de ce poisson ne diffère pas trop de celle de l'eau).

Dans le cas d'un canal fortement incliné destiné à éprouver les capacités de nage d'un poisson (ou dans le cas d'une échelle DENIL inclinée à 25 %), le principe de DUBUAT prend une importance du même ordre de grandeur que celui de l'action de la vitesse de l'eau (DENIL, 1938).

On peut classer les espèces en différentes catégories suivant le rapport $\frac{V}{\sqrt{L}}$ où V = vitesse de pointe en cm/sec.

\sqrt{L} L = longueur du poisson en cm.

- 1ère catégorie : poissons très rapides : $\frac{V}{\sqrt{L}} = 30$ à 70

exemple : seulement l'esturgeon pendant une courte période de sa vie.

- 2ème catégorie : poissons rapides : $\frac{V}{\sqrt{L}} = 30$ à 60

exemple : saumon, truite (de lac, de rivière, de mer), ombre commun et brochet.

- 3ème catégorie : $\frac{V}{\sqrt{L}} = 20$ à 30

exemple : barbeau, hotu, chevesne, vandoise, ablette, goujon, vairon, loche franche, alose finte, perche.

- 4ème catégorie : $\frac{V}{\sqrt{L}} = 10$ à 20

exemple : carpe, carassin, tanche, gardon, rotengle, brème, bouvière.

- 5ème catégorie : $\frac{V}{\sqrt{L}} = 5$ à 10

exemple : lotte

Ce classement a été établi par MAGNAN (1929). KREITMANN (in MAGNAN, 1929) trouve des valeurs quelque peu différentes :

$\frac{V}{\sqrt{L}} = 80$ à 100 pour le saumon et la truite.

$\frac{V}{\sqrt{L}} = 40$ à 45 pour le barbeau et le chevesne.

$\frac{V}{\sqrt{L}} = 10$ à 15 pour l'ablette, la perche et la brème.

$\frac{V}{\sqrt{L}} = 10$ pour le brochet, la carpe et la tanche.

2.2.1.2. Influence de la taille

L'effort demandé pour franchir un courant à la nage est d'autant plus lourd, relativement à la puissance musculaire du poisson, que la taille de celui-ci est plus modeste (DENIL, 1938).

Une relation curvilinaire existe entre la vitesse de nage et la longueur du poisson (KATOPODIS, 1981) :

$$(1) \ln u = A + B \ln l$$

où : - A et B sont des constantes.

- u est la vitesse de nage pour laquelle le poisson est fatigué après un temps bien précis en m/sec.
- l est la longueur du poisson en m.

Il serait possible de sélectionner la taille des individus capables de franchir une passe en jouant sur la vitesse de l'écoulement (LARINIER, 1987).

De même, il existe une relation curvilinaire entre la vitesse de nage et le temps nécessaire à la fatigue pour des poissons d'une taille précise. Elle obéit à l'équation suivante :

$$(2) \ln u = C + D \ln t$$

où : - C et D sont des constantes (D est négative).

- u est la vitesse de nage pour laquelle il y a fatigue en m/sec.
- t est le temps nécessaire à la fatigue en sec.

Notons que t est une constante pour l'équation (1) et l est une constante pour l'équation (2). Les constantes A, B, C et D changent suivant les espèces et la température. u est en fait une mesure de la vitesse de l'eau que le poisson peut remonter et intégrer ainsi les paramètres éthologiques. Les équations (1) et (2) permettent de calculer la distance maximale qu'un poisson peut parcourir à travers une eau d'une vitesse déterminée et constante sur tout le parcours, le poisson ayant aussi une vitesse de remontée constante. (KATOPODIS, 1981)

2.2.1.3. Influence de la teneur en gaz dissous et en sels

Une réduction de la saturation en O_2 réduit la performance de nage des Salmonidés avec une ampleur qui dépend de l'oxygénation du milieu où ils vivent habituellement ; des sursaturations en O_2 peuvent améliorer les performances (WEBB, 1975).

De hauts niveaux de CO_2 n'ont apparemment pas d'effet sur la performance (WEBB, 1975).

Les salinités anormales réduisent les performances mais moins que les températures anormales (WEBB, 1975)

D'une manière générale, une eau de qualité inférieure est susceptible d'affecter les performances (KATOPODIS, 1985).

2.2.1.4. Influence de la température

La température de l'eau affecte peu la vitesse de sprint mais bien les autres vitesses et ceci d'une manière différente suivant la température à laquelle le poisson a été acclimaté ; elle agit directement ou par l'intermédiaire de la concentration en oxygène dissous qu'elle autorise.

Le temps de contraction musculaire est sensible à la température. Un muscle froid se contracte lentement et un muscle chaud se contracte plus rapidement comme résultat de la dépendance vis-à-vis de la température des processus biochimiques et physiologiques (WARDLE, 1980).

Pour une longueur du poisson donnée, un accroissement dans la température a pour résultat une forte réduction de l'endurance et pour une température donnée, un accroissement dans la longueur du poisson a pour résultat un grand accroissement de l'endurance. La réduction à l'endurance à de plus hautes températures résulte des vitesses de nage maximales accrues et l'épuisement plus rapide des réserves de glycogène, tandis que l'accroissement d'endurance pour des poissons plus grands est simplement la résultante d'un stock plus important de glycogène.

En conséquence, les poissons qui passent dans les échelles en juin-juillet vont rencontrer des températures plus élevées et vont être capables d'atteindre les hautes vitesses de nage nécessaires pour surmonter l'épreuve, les migrateurs plus tardifs (octobre) ou printaniers nageront dans des eaux plus froides et auront une vitesse maximum réduite (BEACH, 1984).

2.2.1.5. L'influence des facteurs biologiques

La vitesse de nage est amoindrie par la maturité sexuelle approchante (BLAXTER, 1969). Les saumons et les aloses notamment ne se nourrissent plus lors de la remontée vers les frayères et perdent de leur vigueur.

Les poissons en mauvaise condition à cause de blessures ou de maladies ont des capacités de nage réduites (BEACH, 1984).

Les entraînements préalables augmentent en général la vitesse de nage (WEBB, 1975).

Les poissons provenant de pisciculture pourraient avoir des capacités de se maintenir face au courant plus faibles que les poissons sauvages comme cela a été démontré pour Salmo salar L.1758 (RIMMER et alii, 1984).

La réaction des truites Salmo gairdneri Richardson 1836 face au courant est déterminée non seulement par l'éclairement et la température mais aussi par la souche parentale, il y aurait des dispositions génétiques pour la nage à contre-courant (KELSO et alii, 1980).

2.2.1.6. Rapport entre vitesse de pointe et hauteur de saut

DENIL (1937) in AASERUDE (1985) utilise l'équation suivante pour obtenir la vitesse de pointe du saumon atlantique à partir de la hauteur de ce saut.

$$y = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{g x^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

où : y est l'ordonnée du système de coordonnées orthogonales dont l'origine est le point où le poisson a quitté l'eau. Cette ordonnée correspondant à la hauteur maximale atteinte par le poisson exprimée en m.

α est l'angle de la trajectoire du saut mesuré à partir de l'horizontale

x est l'abscisse du système de coordonnées correspondant à la distance horizontale parcourue par le poisson au moment où il atteint la hauteur maximale. Elle est exprimée en m.

v_0 est la vitesse initiale du poisson à la sortie de l'eau exprimée en m/sec.

g est l'accélération due à la force de gravité, exprimée en m/sec^2 .

FP = force propulsive

W = poids

FB = force d'Archimède

FFD = force de frottement provenant de la tension superficielle

FSD = force de frottement exercée sur la peau

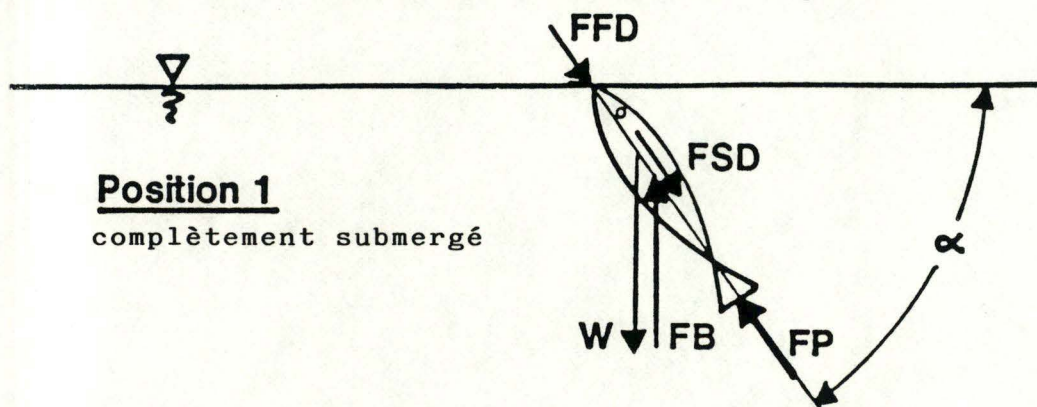
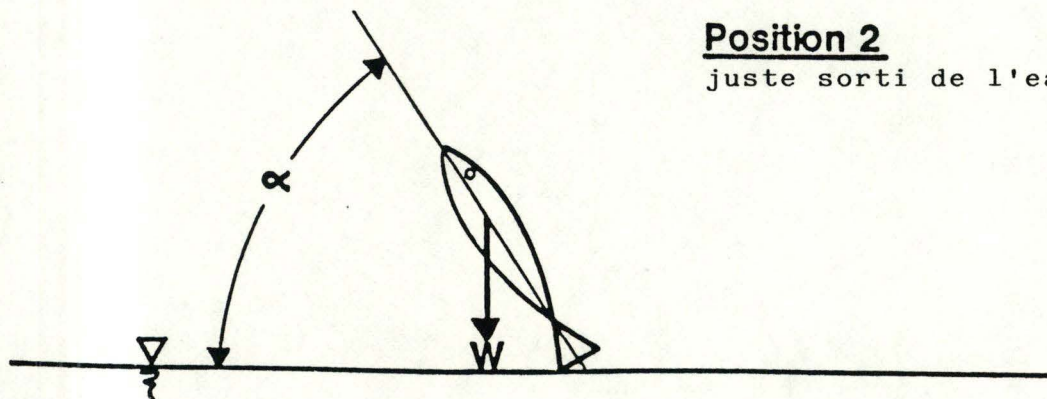


Fig. 57. Schéma des forces agissant sur un poisson avant qu'il n'émerge de l'eau pour l'exécution d'un saut (d'après AASERUDE, 1985).

Forces agissant sur le poisson

Position 2

juste sorti de l'eau



W = poids

Fig. 58 : Schéma des forces agissant sur un poisson qui vient d'émerger pour l'exécution d'un saut (d'après AASERUDE, 1985).

Cette équation correspond simplement à l'équation balistique d'un projectile.

PAULIK et DE LACY (1957) in AASERUDE (1985) considèrent que les équations utilisées pour calculer les vitesses de nage à partir des hauteurs de saut ne sont pas appropriées et tendent à surestimer la vitesse de pointe. Ils pensent en effet qu'il y a un changement dans les forces qui s'exercent sur le poisson lorsque celui-ci quitte l'eau.

Il y a cinq forces qui agissent sur un poisson lorsque celui-ci est complètement submergé juste sous la surface de l'eau (Fig. 57). La force propulsive (FP) de la queue du poisson, le poids (W) du poisson, la force d'Archimède correspondant à l'eau déplacée (FB), la force de frottement provenant de la tension superficielle (FFD) et la force de frottement exercée par la peau (FSD). Lorsque le poisson émerge de l'eau, il y a une réduction de ces forces et on peut supposer que seul le poids reste (Fig. 58). Comme les forces de frottement dans l'air sont négligeables et que la force propulsive de la queue des poissons est pleinement efficace jusqu'au moment de la sortie, on peut prétendre que la hauteur atteinte par le poisson sera supérieure à ce qu'il lui était permis d'espérer en considérant la vitesse juste avant la sortie de l'eau. En effet, lors du passage de l'eau dans l'air, les forces de frottement diminuent car le milieu est moins dense tandis que la force propulsive et le poids du poisson restent constants. La résultante de ces changements va dans le sens d'un accroissement de l'énergie cinétique totale (malgré le fait que le poisson perd l'avantage de l'allègement de son poids par la force d'Archimède, celle-ci disparaissant au fur et à mesure que la quantité d'eau déplacée s'amoin- drit lors du passage du corps du poisson de l'eau à l'air). Certains poissons seraient même capables d'une accélération au moment où ils émergent de l'eau et bien que cet accroissement en vitesse n'apparaisse pas très important, il accroît la hauteur du saut de manière significative car celle-ci varie en fonction du carré de la vitesse. Un corollaire de cet effet est que la hauteur du saut calculée à partir de la vitesse de pointe observée est sous-estimée .

Tableau 3

Résumé des exigences énergétiques pour un poisson en remontée pesant 4 livres (d'après MIH, 1983 in AASERUDE, 1985).

Dénivellation Δh (pieds)	Nage à travers des orifices (ft - lbs)	Nage le long d'une rampe 45° (ft-lbs)	Saut à partir d'un bassin (ft-lbs)
1	7,2	1,6	5,3
2	14,4	6,1	10,7
4	28,9	23,5	21,3
6	43,3	38,6	32,0

Remarque : les valeurs indiquées dans les 3 dernières colonnes sont exprimées dans une unité de mesure de l'énergie qui ne correspond pas au système M K S : ft-lbs :
probablement des livres x $\frac{\text{pieds}^2}{\text{sec}^2}$

2.2.1.7. Aspects bioénergétiques.

Bien qu'il soit très probable que la dépense d'énergie d'un poisson franchissant une passe convenablement conçue ait peu d'impact sur le succès de frai d'un poisson, il est intéressant de considérer les dépenses d'énergie requises pour le franchissement des différents types de passes.

Après avoir observé un poisson nageant à travers une passe à orifices noyés, STUART (1962) conclut que la quantité d'énergie qui est dépensée par un poisson franchissant une succession d'orifices noyés doit être plusieurs fois plus grande que celle requise pour sauter au-dessus d'une série d'obstacles de dénivellation équivalente. Il ne fournit pas d'information quantitative pour étayer son hypothèse.

MIH (1983) in AASERUDE (1985) se posa la question de savoir quel était le mode d'ascension bioénergétiquement le plus efficace en comparant les demandes énergétiques d'un poisson remontant :

- (1) à travers des orifices.
- (2) le long d'une rampe inclinée (style passe à ralentisseurs).
- (3) en sautant de bassins en bassins.

Un résumé de son analyse est présenté au tableau 3.

A partir de ce tableau, il est évident que cette analyse va dans le même sens que la supposition de STUART. Il est également apparent que le saut offre des avantages énergétiques sur la nage le long d'une rampe inclinée, du moins à partir d'une dénivellation de 4 pieds.

2.2.2. La période de migration et son intensité.

Il faut tenir compte pour l'installation d'une passe des espèces migratrices arrêtées par l'obstacle, l'importance de leur stock, la route habituellement suivie et leur période de migration.

La période de migration vers les frayères se fait pour la plupart des poissons de la Meuse surtout au printemps et au début de l'été (de GROOT et MUYRES, 1980). En Moselle, dans la journée, la remontée est faible l'avant-midi, s'accroît vers midi et c'est vers le début de l'après-midi que la remontée est la plus forte puis elle diminue lentement jusqu'au soir jusqu'à être à peu près nulle au crépuscule, cependant les chevesnes remontent encore pas mal la nuit ainsi qu'un petit nombre de goujons, de brèmes bordelières et de brèmes (PELZ, 1985). Pour les anguilles, la remontée se fait dans les passes de la Meuse et de la Moselle de juin à août et seulement

la nuit (de GROOT et MUYRES, 1980 ; PELZ, 1985).

Il faut tenir compte dans le dimensionnement des passes que la remontée des poissons se fait souvent par à-coups ce qui veut dire que beaucoup de poissons arrivent en même temps au bord du barrage, s'y concentrent et veulent le remonter (JENS, 1982) ; de même, les aloses migrent en bancs et il faut pour cela leur offrir un passage le plus large possible (LARINIER, 1983b). Il faut aussi savoir que les poissons remontent les passes à d'autres moments que leur saison de frai et que les passes doivent être en état de fonctionner même durant les autres périodes (SCHWALME et alii, 1985). L'envie de migrer peut disparaître chez un poisson en l'espace de quelques heures (de GROOT et MUYRES, 1980).

Les phases de la lune peuvent avoir une influence sur la remontée des poissons ; ainsi MARTIN (1984) signale que deux migrations catadromiques d'aloses juvéniles, Alosa pseudoharengus, s'effectuant dans la passe de Saint-Georges dans le bassin de Magaguaravic, l'une en août, l'autre en septembre, sont centrées aux alentours des pleines lunes. Les ombles de fontaine Salvelinus fontinalis (Mitchill 1815) peuvent avoir des migrations centrées sur la nouvelle lune (CASTONGUAY et alii, 1982).

Dans le cas d'une passe à poissons installée près d'un estuaire, les marées peuvent jouer un rôle sur son efficacité. (BRAWN, 1979) a montré dans ce cas que les saumons passent plus facilement à mi-marée et à marée haute dans une passe à fentes verticales et à 3/4 de marée dans une passe à orifices noyés. L'influence des marées semble s'exercer via la hauteur de l'eau à l'entrée et les variations de salinité.

La température de l'eau et surtout le niveau et la vitesse qu'elle atteint pourraient avoir de l'influence sur l'efficacité d'une passe comme l'a montré DOMINY (1971) sur les Alosa pseudoharengus. COOPER (1961) in RICHKUS (1974) trouve un arrêt de la migration de cette alose, quand la température de l'eau excède 21°C. BOISNEAU et alii (1985) constatent un arrêt de la migration de Alosa alosa (L. 1758) dans la Loire, quand la température est inférieure à 11°C.

Dans les cas où les poissons sont stockés dans un volume d'eau limité (écluses à poissons, ascenseurs à poissons, camions transporteurs), il faut prévoir une teneur en O_2 dissous suffisante pour satisfaire aux besoins des poissons. La consommation d'oxygène par les poissons dépend des espèces, de la taille, de la vitesse de nage, de la température de l'eau et de la concentration en polluants. Quand les poissons sont rassemblés, ils deviennent très agités et ont un taux de consommation d'oxygène plus élevé. Dans ces conditions, on considère que, pour le stockage des poissons, il faut prévoir un minimum de 0,8 litre d'eau saturée en oxygène à 10°C par kg de poisson transporté et par minute de transport (KATOPODIS, 1985).

Une vitesse et un niveau d'eau accru en aval d'une passe augmente la remontée dans celle-ci à cause d'une augmentation de l'activité du poisson mais surtout à cause d'une meilleure possibilité d'orientation pour celui-ci (BRAWN, 1979 ; LARINIER, 1987).

L'influence de la pluie sur la remontée des poissons a été étudiée par BRAWN (1979) sur Salmo salar L. 1758 qui n'a pas pu montrer une quelconque corrélation.

Le bruit d'eau qui chute pourrait avoir une influence sur la remontée des poissons mais on ne sait pas dans quelle mesure (PELZ, 1985).

2.2.3. Le comportement du poisson.

2.2.3.1. Le comportement de migration du poisson.

Parmi les poissons migrateurs, certains vivent en mer et ne viennent en eau douce que pour s'y reproduire (migrateurs anadromes ou potamotoques), ils remontent les rivières sur des distances parfois considérables. Ils sont actuellement disparus de la Meuse ou considérés comme tels. Ce sont entre autre : le corégone oxyrhinque, l'esturgeon, la grande alose, l'alose finte, la lamproie marine, la lamproie fluviatile, la truite de mer et le saumon atlantique, ces espèces ayant en général une valeur commerciale élevée.

D'autres poissons se déplacent à la saison du frai le long de leur rivière et de ses affluents bien que passant toute leur vie en eau douce. Ce sont par exemple : l'ide mélanote, le barbeau, le hotu, l'ombre, la truite de rivière. Notons que les obstacles gênent

Tableau 4 : Répartition des espèces de poissons trouvées à la passe à poissons de Coblenca suivant leurs exigences au point de vue courant (d'après PELZ, 1985).

- : espèces nettement rhéophobes
- : espèces plutôt rhéophobes
- + : espèces ubiquistes à tendance rhéophobe
- o : espèces ubiquistes sans préférence
- ± : espèces ubiquistes à tendance rhéophile
- + : espèces plutôt rhéophiles
- ++ : espèces nettement rhéophiles

Nombre de poissons capturés à la passe à poissons de Coblenca en 1982/1983	Degré de rhéophilie						
	--	-	±	o	±	+	++
161 811				gardon	ablette		
20 381					goujon		
2 710			brème		chevesne		
1 387			brème				
1 221			bordelière				
953				perche fluviaatile			
787					vandoise		
330							truite de rivière
207							hotu
139							truite
91							arc-en-ciel
61	tanche						
59							barbeau fluviaatile truite de mer
36			rotengle			ide mélanote	
12							lamproie marine
11							
4							
4	gîèle						
3	carassin						
3							saumon de fontaine
2	carpe						<u>Vimba vimba</u> L.
1							
1		grémille					
1				perche soleil			
1							ombre commun
0		brochet					
0		sandre					

le poisson dans tous ses déplacements et ceux-ci ne sont pas toujours effectués pour la reproduction, certaines espèces se déplacent également pour hiverner ou se nourrir.

En règle générale, les migrations de poissons se conforment au modèle suivant : les formes jeunes se déplacent des frayères vers les aires de nourrissage, les formes juvéniles se déplacent de ces dernières vers les aires d'hivernage et de croissance, les adultes matures retourneront enfin vers les frayères et après la reproduction meurent ou retournent vers les zones de croissance et d'hivernage. Le taux de maturation sexuelle et la période de frai dépendent de facteurs environnementaux (température de l'eau, photopériode, etc...) et héréditaires ; ils ne peuvent s'adapter à des délais prolongés. L'accessibilité à un habitat adéquat pour le frai sans retardement excessif est donc essentielle à une population piscicole florissante. C'est ce dernier rôle que les passes à poissons sont chargées de jouer (KATOPODIS, 1985).

Enfin, rappelons que certains poissons se déplacent sans motivation essentielle mais cela permet le repeuplement d'endroits où l'espèce est en régression à partir d'endroits où elle est abondante.

2.2.3.2. Le comportement du poisson dans un bief et la rhéotaxie.

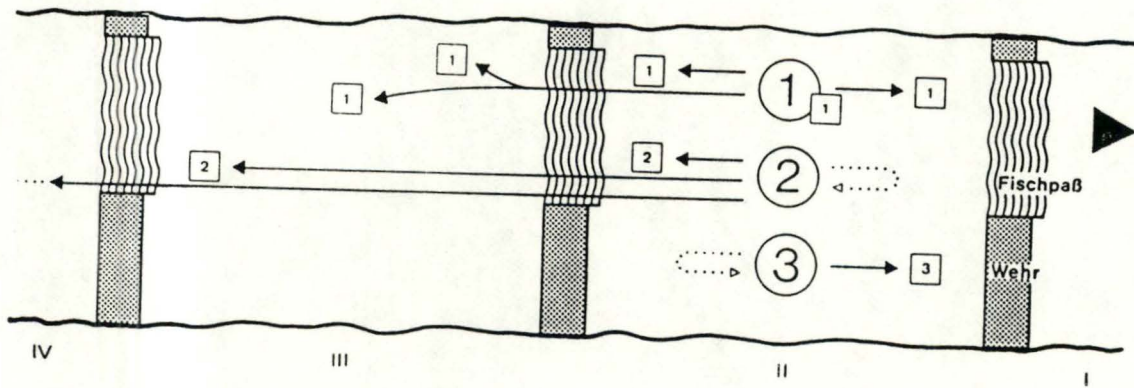
PELZ (1985) a réparti les espèces de poissons de la Moselle en un certain nombre de catégories correspondant à leur comportement rhéotaxique. Ce comportement se répercute sur la répartition des espèces dans un bief.

Les différentes catégories de poissons sont :

- les espèces rhéophobes qui se concentrent loin de l'aval des barrages et évitent donc l'amont d'un bief.
- les espèces rhéophiles séjournent davantage dans les parties du fleuve au courant le plus intense, de préférence en aval de chaque barrage.
- les espèces euryèces pour la rhéotaxie se retrouvent un peu partout.

Les espèces présentes dans la Moselle ont été rassemblées dans le tableau 4 et classées suivant le nombre d'individus capturés

Fig. 59 Schéma représentant la recherche de frayères dans un fleuve traversé par plusieurs barrages munis de passes à poissons (PELZ, 1985)



- ① : espèces de poissons euryèces (1 : frayères)
 ② : espèces de poissons rhéophiles (2 : frayères)
 ③ : espèces de poissons rhéophobes (3 : frayères)
 ► : direction du courant
 I - IV : biefs successifs

dans la passe de Coblenze en 1982 et 1983 et suivant leurs exigences en ce qui concerne le courant. Notons que toutes les espèces ont été retrouvées dans la passe sauf le brochet et le sandre. Ce tableau montre que la plupart des poissons qui remontent sont des poissons euryèces. On trouve en plus petit nombre les espèces purement rhéophiles (parce qu'elles sont moins nombreuses dans ce fleuve lent). Les espèces rhéophobes (tanches, gibêles, carassins, carpes, grémilles, brochets et sandres mais aussi les brèmes et les brèmes bordelières) remontent encore plus rarement.

La répartition des poissons dans le bief ainsi que leurs habitudes de déplacement sont schématisés dans la Fig. 59.

Les espèces rhéophobes ont besoin d'une frayère dans les eaux stagnantes ou modérément courantes. A l'approche d'un barrage, la vitesse de l'eau du bief situé en aval est fortement accrue à proximité immédiate de ce barrage et décroît au fur et à mesure qu'on s'éloigne de celui-ci. Les espèces rhéophobes s'éloignent donc de la partie amont du bief qui est dans la sphère d'influence de cette zone d'accélération et ils cherchent une frayère dans l'eau du bief dans lequel ils se trouvent. Ils restent par conséquent exceptionnellement dans les passes à poissons et pour cette raison on les y trouvera très rarement. Les espèces plutôt rhéophobes telles que la brème et la brème bordelière ne constituent pas une exception bien qu'elles remontent fréquemment la Moselle ; en effet, le nombre d'individus qu'on trouve dans les passes est, pour ces deux espèces, probablement insignifiant par rapport à l'importance des populations qui doivent se trouver dans le fleuve. Dans la direction de l'aval du bief, le barrage a un effet de barrière et les poissons évitent de dévaler dans le bief du dessous (STEINMANN et alii, 1937).

Chez les poissons rhéophiles, les mouvements sont différents: ils sont dirigés à contre-courant car, dans les eaux à l'intérieur d'un bief, ces espèces ne peuvent pas trouver d'endroits pouvant leur fournir des frayères acceptables. Leur recherche d'une frayère restent donc sans succès et ils se dirigent vers le barrage où ils trouvent éventuellement l'entrée de la passe à poissons. Durant la remontée de la passe, ils sont exposés constamment à un fort courant mais dès qu'ils atteignent le bief supérieur, le courant redevient soudain moindre et ils ne trouvent toujours pas de conditions adéquates pour le frai. Il ne leur reste pas d'autres choix que de

poursuivre leur recherche et de continuer à nager à contre-courant. Cette continuation ne les aidera pas beaucoup en principe car au prochain barrage et éventuellement au suivant, le même processus se répétera. C'est le moment de souligner ici que la possibilité de remontée grâce à la construction de passes à poissons n'est pas une condition suffisante pour la protection des espèces rhéophiles ; il faut aussi penser à leur réserver des frayères adéquates. Ainsi, dans le cas de la Moselle, un grand nombre d'endroits dans les affluents où le frai aurait été éventuellement possible sont soit envasés, soit asséchés ou inaccessibles à partir du cours principal.

Les espèces de poissons euryèces pour la rhéotaxie sont répandus un peu partout dans le bief et ils sont peu exigeants en ce qui concerne le type de substrat sur lequel ils fraient. A l'intérieur d'un tronçon de cours d'eau d'environ 20 km de long, il leur serait possible de trouver des frayères aussi bien dans les parties amont que dans les parties aval des biefs.

Toutes ces données sont valables pour la Moselle mais, si l'on considère que les caractéristiques biologiques et physiques de la Meuse sont très comparables, nous n'avons à fortiori pas de raisons apparentes de croire qu'elles ne sont pas applicables au fleuve belge.

En fait, nous ne possédons pas de renseignements précis et récents sur le comportement des différentes espèces de poissons de la Meuse dans les échelles ni sur la fréquence et la motivation de leur déplacement d'un bief à l'autre.

DENIL (1938) ne négligea pourtant pas l'aspect éthologique lorsqu'il aborda le problème des passes à poissons. Selon lui, les carpes, lorsqu'on les introduit dans un bief de la Meuse, y restent sans tenter de franchir les échelles. Il en est de même du brochet. Ces deux espèces sont très sédentaires et affectionnent les zones calmes. Le hotu, le barbeau et le chevesne sont très rhéotropes et franchissent les échelles en grand nombre ; les deux premières espèces sont des poissons de fond mais le chevesne est un poisson de surface qui devrait donc franchir aisément des passes à bassins à échancrures. La brème est capable de traverser des échelles imposant des conditions de franchissement difficiles mais elle est méfiante

et serait facilement troublée par le bruit. La tanche est très apathique et sa présence dans une échelle doit être considérée comme exceptionnelle. Le gardon se déplace beaucoup mais seulement dans un rayon limité et dans le but de rechercher de la nourriture ; il n'aime pas la nage forcée (surtout à l'âge adulte) et bien que n'étant vraisemblablement pas fort tenté par les échelles à poissons, on l'y retrouve souvent car c'est un poisson très commun dans les biefs de la Meuse. Les perches sont attirées par l'aval des barrages car elles y chassent les petits poissons rhéotropes qui constituent des proies d'autant plus faciles qu'ils sont fréquemment désorientés par les remous ; seules les jeunes perches franchissent volontiers les échelles. La truite de rivière possède un rhéotropisme d'origine fondamentalement reproductrice et les individus de cette espèce qui survivent en Meuse remontent vers l'amont et vers les petits affluents où elles frayent ; cette remontée se fait individuellement à partir du printemps et elle devient plus importante en automne. La truite arc-en-ciel, parfois présente en Meuse, remonte de la même manière que la truite de rivière mais son instinct migrateur serait plus fort. L'anguille est poussée à remonter vers l'amont essentiellement lors du réchauffement de la Meuse au début de l'été (mi-juin) quand la température est comprise entre 19 et 23°C. Pour le saumon, en voie de réintroduction dans le bassin mosan, il semble que ce soit l'excitation sexuelle, due à la maturité croissante des gonades, qui provoque chez lui une exagération des besoins d'exercice physique et le pousse à se dépenser en luttant contre le courant. Sa migration le pousse jusqu'en amont des petits tributaires où il est bloqué et attend l'heure de la fraie. Cette exaltation des potentialités sportives fait du saumon un très bon candidat pour le franchissement des obstacles, nageant rapidement et sautant très haut ; il lui faut cependant une profondeur d'eau suffisante pour prendre un appel pour le saut et une température pas trop basse pour pouvoir sauter sans difficulté (GILLET, com. pers.). Quant aux poissons blancs, et en particulier les barbeaux et les chevesnes, il semblerait que les mouvements de montée soient relativement indépendants de l'état de maturité auquel sont arrivées les glandes sexuelles et de la proximité de l'époque du frai. Cette indépendance a été établie par examen des gonades des poissons remontant dans les échelles.

La recherche d'une eau oxygénée n'est pas non plus une explication satisfaisante car dans ce cas les poissons s'arrêteraient en aval du barrage car la concentration en O_2 y est au moins aussi élevée que dans les échelles.

Le facteur le plus important déterminant la remontée des poissons en Meuse serait le radiant thermométrique, c'est-à-dire la rapidité avec laquelle le changement de température se manifeste. Le niveau de la température en elle-même aurait une importance moindre et n'interviendrait qu'en déterminant un seuil thermique en dessous duquel le poisson ne peut pas avoir envie de remonter. Les petits poissons sont plus sensibles à ce radiant thermométrique. En effet, la température de leur corps suit plus fidèlement celle de l'eau dans laquelle ils sont plongés car ils possèdent un rapport de la surface d'échange thermique sur le volume corporel plus élevé que les gros poissons et leurs petites masses sont facilement traversées par la chaleur. Ceci expliquerait peut-être le goût pour l'effort plus accentué des jeunes animaux dans le cas notamment des gardons, des perches, des ablettes et des goujons.

2.2.3.3. Le comportement du poisson face à un obstacle.

Pour l'implantation d'une passe et la situation de son entrée, il convient avant tout de tenir compte du comportement du migrateur et de ses zones de rassemblement : pour un barrage existant, il est possible de noter le comportement des migrateurs ce qui aidera à choisir la situation de l'entrée de la passe et par suite son endroit d'implantation ; dans le cas d'un ouvrage en projet, on ne peut faire que des hypothèses sur le comportement du poisson. Toutefois, il faut savoir qu'un poisson cherche toujours à remonter dans le courant le plus à l'amont possible et c'est le plus près possible de la ligne de plus haute remontée du migrateur qu'il convient d'installer l'entrée de la passe. Les poissons passeront outre d'une passe située trop en aval (RAVERET - WATTEL, 1894 in LARINIER, 1977). D'autre part, les poissons se déplacent en principe là où le courant est le plus fort (JENS, 1982). Ils sont attirés à la base d'une échelle à cause de leur comportement rhéotaxique positif, de leur préférence pour les eaux oxygénées et peut-être du bruit de la chute d'eau (ARNOLD, 1974 ; HUNTSMAN, 1934 ; JENS, 1981 ; MOTTLEY, 1933).

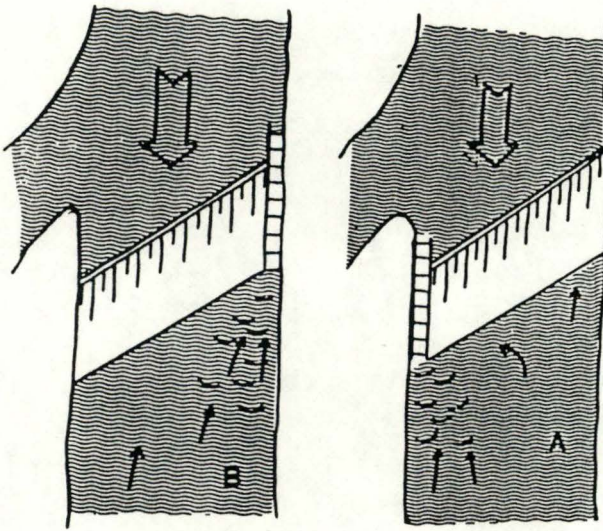


Fig. 60 : Bonne disposition (B) et mauvaise disposition (A) de l'entrée d'une passe dans le cas d'un barrage disposé obliquement sur un cours d'eau (d'après JENS, 1982).

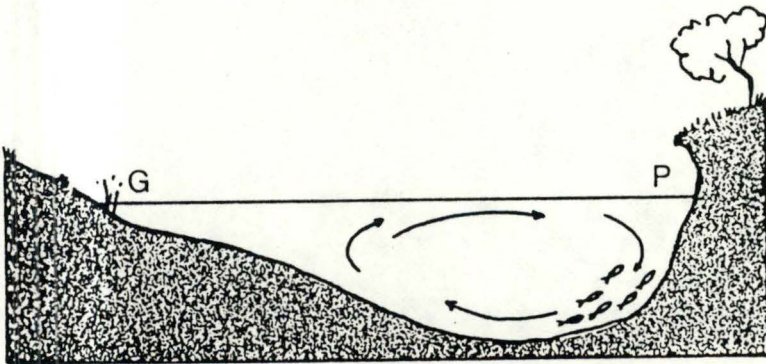


Fig. 61 : Position de la rive (P) où s'exerce la pression à contre-courant due à la rotation transversale de la masse d'eau sur elle-même (d'après JENS, 1982).

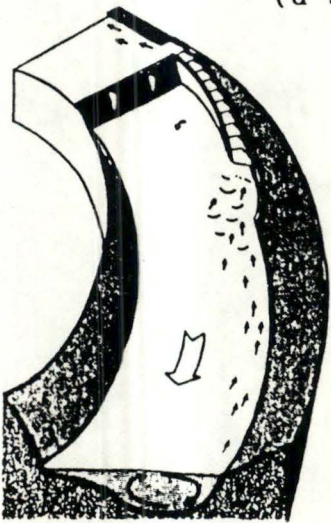


Fig. 62 : Passe à poissons disposée sur la rive où la pression du courant est maximale (d'après JENS, 1982).

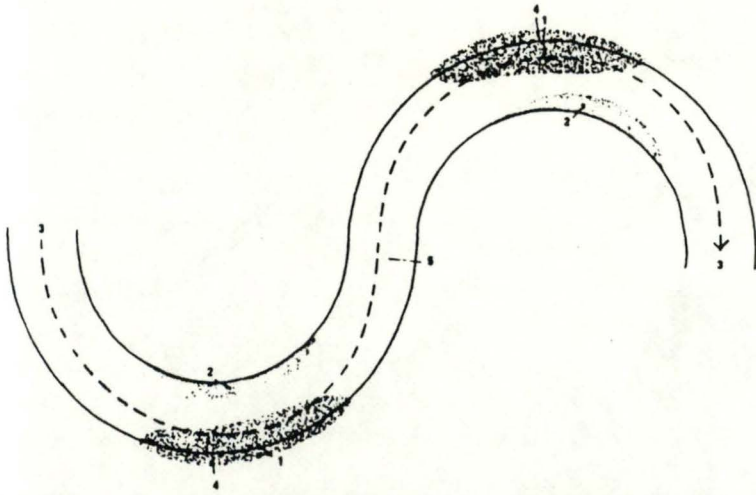


Fig. 63 : Représentation des mouvements de l'eau dans une rivière (d'après JENS, 1982)

- 1 : correspond à P de la Fig. 61
- 2 : correspond à G de la Fig. 61
- 3 : ligne de la plus grande vitesse du courant
- 4 : sommet du méandre correspondant à la rive "de choc"
- 5 : point où le sens de rotation de l'eau s'inverse.

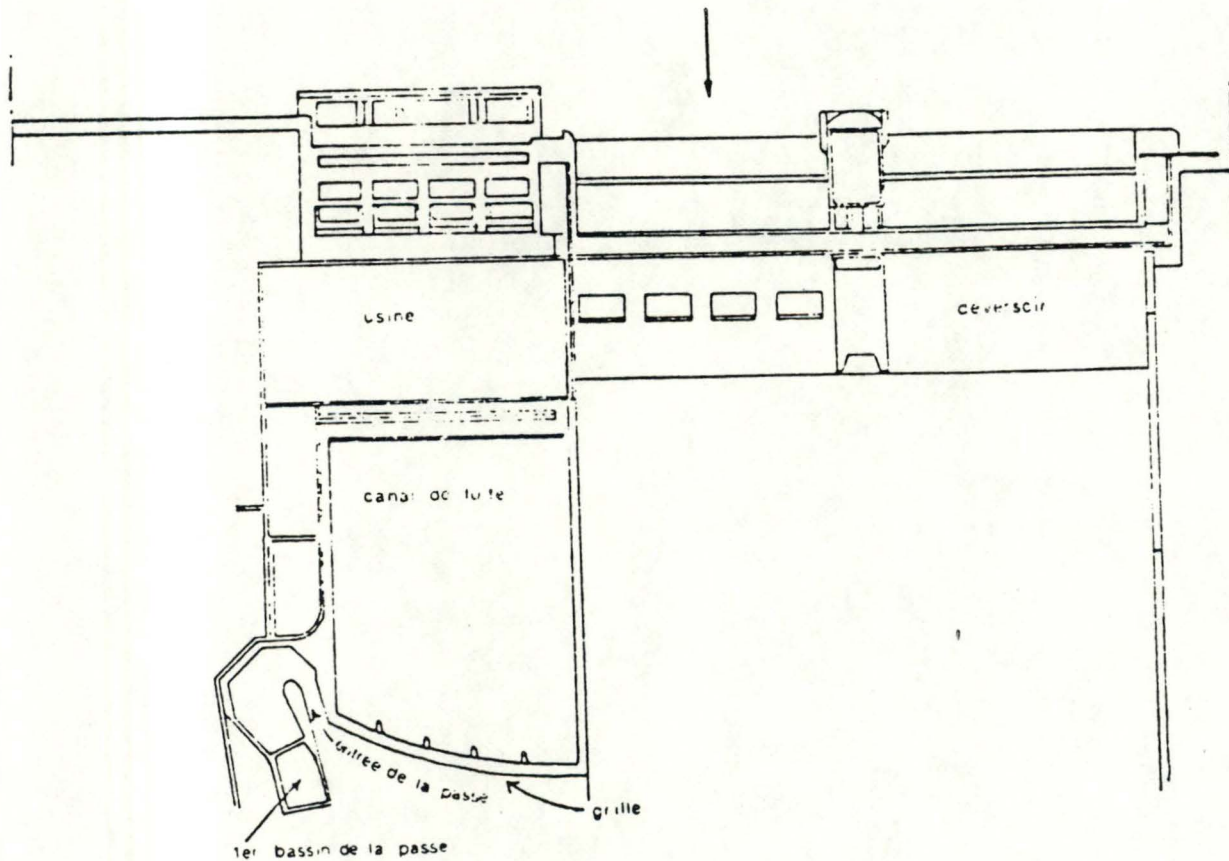


Fig. 64 : Grille servant à diriger les poissons attirés par un canal de fuite vers l'entrée d'une passe (d'après LARINIER, 1977).

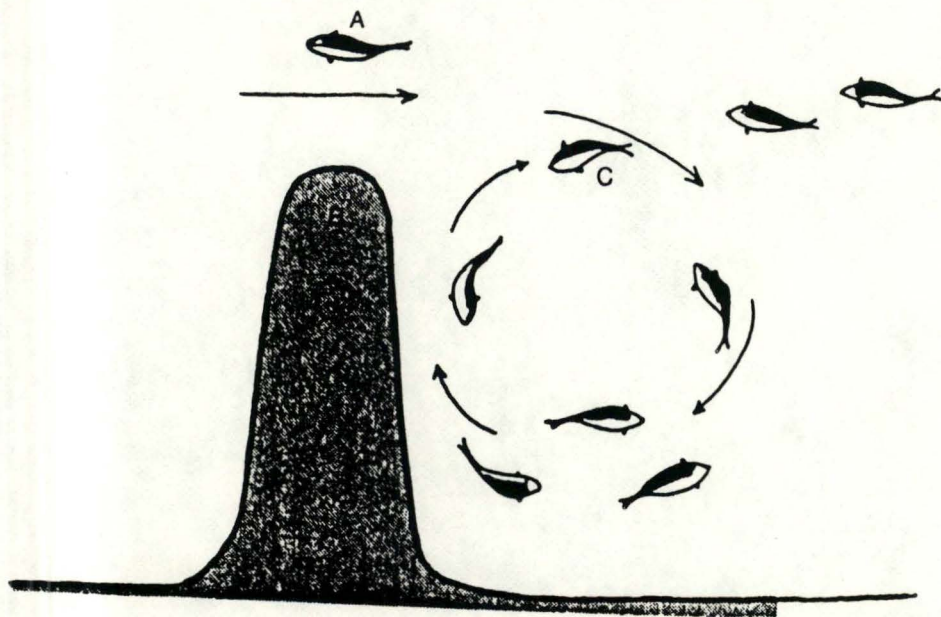


Fig. 65 : Poissons momentanément désorientés (C) dans un tourbillon en aval d'une turbine et retrouvant leur chemin (A) après des mouvements giratoires. (d'après JENS, 1982).

Dans le cas d'un barrage dont la crête est située obliquement par rapport à l'axe longitudinal du cours d'eau (Fig. 60), l'entrée se fait sur le côté le plus en amont (LARINIER, 1977) c'est-à-dire à l'angle aigu et pas à l'angle obtus. Si le barrage est implanté perpendiculairement à l'axe d'écoulement, les poissons se présentent sur l'obstacle suivant la configuration du cours d'eau en aval. Ils peuvent notamment faire la file sur une longueur de plusieurs centaines de mètres le long de la "rive de choc". La "rive de choc" est l'endroit où le courant est le plus fort ou le côté de la rivière où s'exerce une pression à contre-courant plus forte en raison de la rotation transversale de la masse d'eau sur elle-même (Fig. 61 et 62) (JENS, 1982). La "rive de choc" correspond dans un méandre à la rive externe (Fig. 63). Le poisson peut également être guidé vers les passes par le réglage des débits de plusieurs vannes ou, dans le cas de centrales hydroélectriques, par la disposition de plusieurs grilles en travers du canal de fuite (Fig. 64). Cette dernière solution n'étant pas applicable pour les gros cours d'eau (LARINIER, 1977).

Dans le cas d'un aménagement hydroélectrique, les migrateurs seront généralement attirés vers les aspirateurs des turbines, il conviendra donc d'installer l'entrée de la passe du côté de l'usine. On peut aussi installer un canal collecteur comportant une série d'entrées au-dessus des aspirateurs des turbines (LARINIER, 1983b) ou être amené à prévoir plusieurs entrées, mais aussi plusieurs dispositifs de franchissement différents (exemple : un barrage déversant dans lequel est installé une usine hydroélectrique où il y a rejet d'eau via les turbines : il y aura attiré des migrateurs au niveau du déversement et au niveau de l'eau rejetée par les turbines).

D'après JENS (1981), les passes situées près des turbines sont aussi bien acceptées que celles qui sont le long des berges même si la position des poissons en migration se situe le long des berges car les poissons sont guidés par l'eau des turbines et retenus près des turbines, s'ils sont perdus ils font des mouvements giratoires mais trouvent quand même facilement l'entrée (Fig. 65). D'après CLAY (1961), les poissons perdent leur orientation dans les turbulences en aval des turbines ou des barrages déversants et ne

peuvent plus faire de migrations dirigées. CLAY (1961) a tracé une ligne : l' "upstream limit of migration" et prétend que la passe à poissons doit être le plus près possible de cette ligne dans la zone la moins turbulente ; au-delà de la ligne, les turbulences désorientent le poisson et en deçà le courant d'appel est trop faible. D'après JENS (1981), les poissons qui ratent l'entrée dans ces conditions et la dépassent jusqu'aux turbines la retrouvent quand même par après peut-être uniquement par hasard. Pour PODUNNI (1976) in LARINIER (1977) l' "upstream limit of migration" délimite une frontière au delà de laquelle les poissons se déplacent de manière désordonnée et qu'ils évitent de franchir. La distance de cette limite est fonction de la pression du courant à la sortie des turbines. Cette pression est elle-même proportionnelle au carré de la vitesse de l'eau (DESCY, 1987).

2.2.4 Le débit et les dimensions à consacrer à l'échelle.

Le débit qui doit passer dans l'échelle doit être directement proportionnel à celui du cours d'eau : 1 à 5 % selon LARINIER (1983b), environ 3 % du débit moyen annuel du cours d'eau pendant la période de migration pour HILDEBRAND et alii (1980). Ceci explique que certains dispositifs ne soient valables que pour des cours d'eau d'une certaine dimension (par exemple : les passes DENIL ne sont pas vraiment valables pour les très gros cours d'eau car leurs caractéristiques dimensionnelles les empêchent d'absorber de grands débits). La longueur de la passe quand à elle dépend de la dénivellation imposée entre le bief amont et aval par le barrage et sa largeur dépend de la largeur de la rivière et du nombre de migrateurs qui passent en période de pointe (de GROOT et MUYRES, 1980).

Un débit complémentaire parfois nécessaire à l'attraction peut être injecté dans le tronçon aval de la passe. Pour les grands migrateurs, l'expérience montre qu'il est indispensable de créer au niveau de l'entrée des vitesses élevées devant cependant rester compatibles avec la capacité de nage de toutes les espèces migratrices concernées ; des valeurs de 1,5 m/sec. à 2,5 m/sec. sont communément admises. Ces vitesses suffisantes peuvent être obtenues quelles que soient les conditions de niveau aval en agissant sur les sections d'écoulement ou en modulant le débit dans l'ouvrage (LARINIER, 1987).

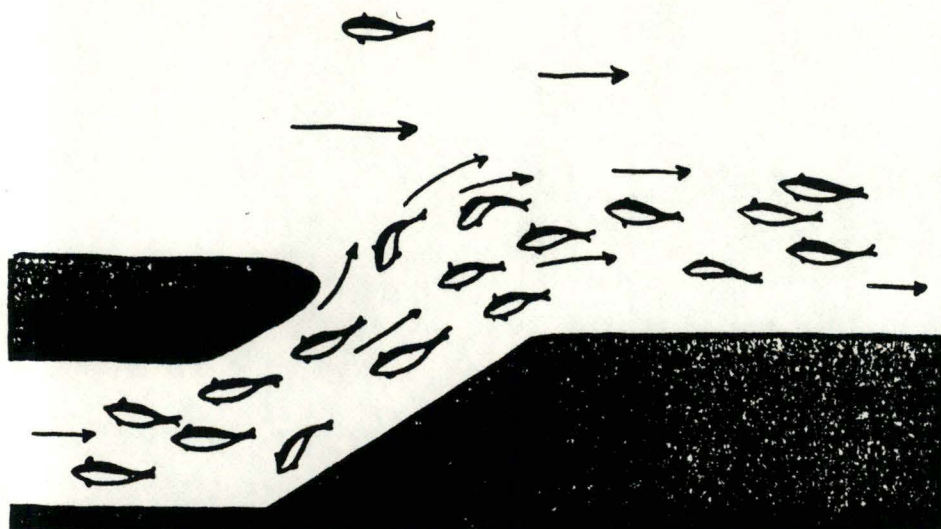


Fig. 66 : Sortie d'eau d'une passe s'écoulant obliquement par rapport au courant du fleuve afin d'être perçue plus aisément par les poissons (d'après JENS, 1982).

Le saumon Oncorhynchus tshawytscha (Walbaum 1792) et la truite "steelhead" Salmo gairdneri préfèrent un courant de 4m/sec. à un courant de 0,9 m/sec. (EBEL, ?). L'alose Alosa alosa (L. 1758) nécessite aussi, en plus d'une lame d'eau suffisante, une vitesse de courant assez élevée pour l'encourager à franchir les obstacles (LITAUDON, 1984).

Si le débit à consacrer à l'attraction d'une échelle semble trop important et préjudiciable à une centrale hydroélectrique, mieux vaut diminuer la durée du fonctionnement (au niveau de la journée et de l'année) que d'en limiter le débit (LACHADENEDE, 1931).

2.2.5. La position de l'entrée de la passe et ses caractéristiques.

Les migrateurs doivent être attirés vers l'entrée le plus rapidement possible lorsqu'ils arrivent sur l'obstacle et pour cela il faut créer une grande attractivité par un bon positionnement de l'entrée, un débit adéquat dans la passe, des vitesses et des courants au voisinage de l'entrée qui ne doivent pas être masqués par des écoulements plus importants provenant des turbines, de déversements (LARRIEU, 1941) ou du cours d'eau lui-même ou par des tourbillons se formant à l'entrée de la passe (CLAY, 1961). Pour ce faire, il est conseillé d'implanter les passes sur les rives de façon à ce que le débit de la passe débouche immédiatement à l'aval du remous du barrage et obliquement ou perpendiculairement par rapport à la direction générale de l'écoulement ce qui le fait percevoir plus facilement par le poisson (Fig. 66)(DENIL, 1936; DEELDER et VAN DREMELLEN, 1960 ; JENS, 1982). On peut réaliser cela en plaçant un écran de maçonnerie dans l'eau dont le rôle est de servir de déflecteur et d'opérer une déviation oblique de 45° du courant sortant de l'échelle par rapport à la direction de la chute du réservoir (DENIL, 1936). On peut en outre rendre l'entrée d'une passe plus attractive dans les cas où les débits des turbines ou du déversoir sont trop élevés par la création d'un appel d'eau supplémentaire au voisinage de l'entrée en utilisant un débit d'attrait auxiliaire, ne transitant pas par la passe et délivré à une pression assez basse (pour ne pas perturber le comportement du poisson), par gravité, turbinage ou pompage à partir du bief amont (LARINIER, 1977). Si la turbulence est trop forte à l'endroit

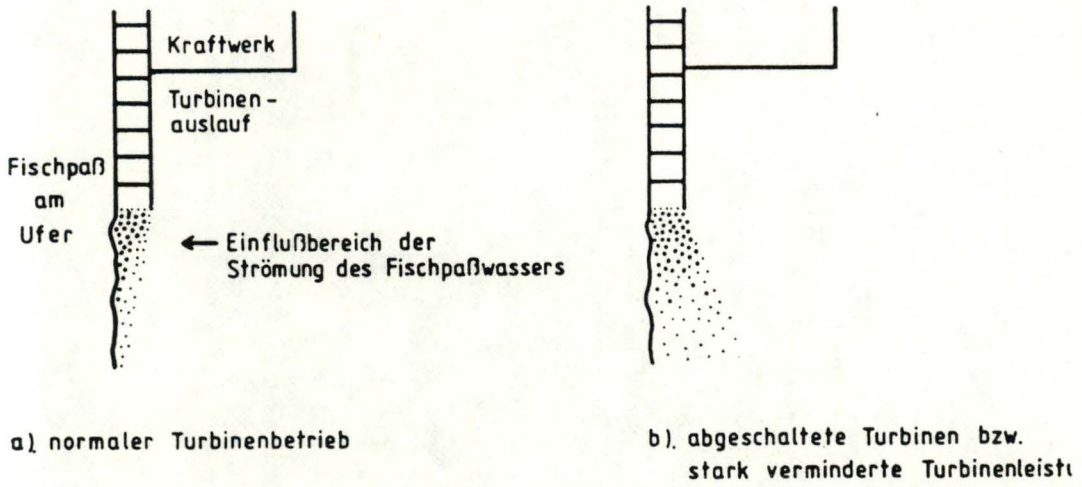


Fig. 67 : Profil de l'écoulement de l'eau en aval d'une passe située à côté d'une sortie de turbine
 a) en fonctionnement ordinaire
 b) en fonctionnement ralenti
 (d'après PELZ, 1985).

de l'entrée de la passe, le poisson gaspille trop d'énergie pour l'atteindre et il peut lui arriver de ne pas parvenir à traverser les bassins supérieurs de la passe (PELZ, 1985). L'attractivité de la passe peut être affaiblie par une diminution de la vitesse de l'eau à l'entrée par une variation du niveau du bief aval, ce qui peut être corrigé par un déversoir automatique télescopique ou par une variation du débit d'attrait (LARINIER, 1987).

La migration pour la recherche des frayères s'effectue au printemps et en général le long des berges, c'est pourquoi l'entrée de la passe doit idéalement se trouver le long de la berge et à proximité de l' "upstream limit of migration" dont nous avons parlé auparavant. Toutefois, la construction d'une passe à poissons vers le milieu du fleuve pourrait être un avantage lorsqu'il y a des turbulences vers cet endroit (turbines, barrages déversants) et qu'on ne trouve pas de turbulences entre l'entrée de la passe et la berge. Dans ce cas, si on construit une passe dans la zone latérale calme (sur la berge par exemple), elle aura une très faible efficacité car l'entrée sera située dans une baie sans grand courant (SCHIEMENZ, 1959^b, 1963 et 1966 ; SCHIEMENZ et KOOPS, 1963).

Dans le cas où l'entrée de la passe est directement à proximité d'une turbine et quand celle-ci n'est pas utilisée ou ralentie, alors l'eau sortant de la passe à poissons s'écoule en s'étendant dans la zone à faible courant qui la borde et l'appel de la passe est renforcé car il n'est plus masqué et les poissons trouvent plus facilement l'entrée (Fig. 67) mais peu de poissons vont remonter la passe car peu de poissons s'accumulent en aval lorsque le courant y est faible (FRIES et TESCH, 1965).

Pour que l'entrée ait un appel optimal, il faut assurer un entretien intensif de la passe (nettoyage,...) et il faut que la vitesse de l'eau soit suffisante. On considère comme valable des valeurs de 1,0 à 2,4 m/sec. pour les espèces anadromes et de 1,0 m/sec. pour les poissons holobiotiques (BELL, 1973 ; CLAY, 1961 ; DECKER, 1967).

2.2.6. La conception du dispositif.

Il est préférable de concevoir le dispositif de franchissement en même temps que le barrage lui-même car l'intégration d'une passe dans un ouvrage déjà existant est beaucoup plus coûteuse et les conditions d'efficacité dans ce cas sont rarement satisfaites.

Les études sur modèle réduit permettent d'éviter les erreurs concernant l'implantation de la passe, le dimensionnement, l'optimisation des conditions d'attrait et d'entrée. Elles permettent d'estimer les limites de fonctionnement et les valeurs du débit, du tirant d'eau et des vitesses moyennes en fonction de la pente et des dimensions caractéristiques de la passe ainsi que de la charge amont (LARINIER, 1977, 1978). Elles servent aussi à s'assurer que les critères sur les puissances dissipées et les hauteurs de chute sont respectés, à positionner l'entrée, à étudier l'attrait de la passe dans le bief aval et le débit complémentaire d'attrait nécessaire, à étudier la forme de la tête amont de façon à réduire l'entraînement des corps dérivants dans la passe. Elles sont plus courtes et moins coûteuses que les essais en nature. (LARINIER et TRIVELLADO, 1987).

Les plans doivent être très détaillés et respectés lors de la fabrication de la passe car des modifications peuvent la rendre inefficace.

L'effacement d'un barrage est toujours préférable à la construction d'une passe, si efficace soit-elle. La migration est toujours perturbée si les poissons doivent franchir une passe, le sex-ratio peut notamment être changé de part et d'autre de la passe comme cela a été démontré chez Alosa pseudoharengus dans le lac Damariscotta dans le Maine où les mâles franchissent mieux la passe que les femelles qui sont plus grandes et plus lourdes, ceci étant vérifié chez les aloses les plus âgées (les premières à effectuer la migration) (LIBBY, 1981).

Faut-il éclairer les passes (y compris les écluses) qui sont recouvertes ou enterrées ?
D'après BELL (1973), la vitesse de franchissement n'est pas diminuée si la passe n'est pas éclairée et d'après EBEL (?) et

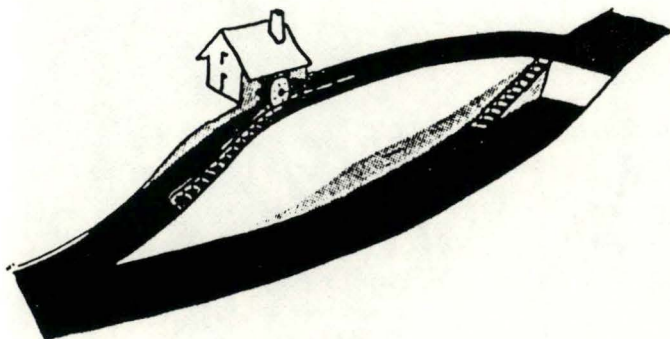


Fig. 68 : Echelle à poissons installée sur un biez destiné à l'alimentation d'un moulin à eau (d'après JENS, 1982).

LONG (1959), elle serait même augmentée bien que le poisson hésiterait plus longtemps avant de s'engager si l'arrière-plan de l'orifice d'entrée est obscur d'où le conseil d'éclairer artificiellement ou naturellement celui-ci. MARTIN (1984) pense que les saumons Salmo salar L. répugneraient à aller dans des bassins ombragés car la vision semble jouer un rôle important pour son orientation. D'après TESCH (1975), certains poissons comme le gardon Rutilus rutilus L., le brochet Esox lucius L., la perche Perca fluviatilis L. et le sandre Stizostedion lucioperca L. 1758 réagissent positivement au phototactisme, ils nagent vers la lumière et s'agrègent près d'un spot lumineux si on en met un à leur portée. Le barbeau et le chevesne ne sont pas exigeants au point de vue de l'éclairage.

Les arêtes vives et les endroits contondants sont à éviter dans les passes pour éviter des blessures des poissons par abrasion (MARTIN, 1984).

Il faut tenir compte lors de la conception des données hydrologiques, sédimentologiques et morphologiques du cours d'eau et des caractéristiques de l'obstacle et des circuits d'eau attenants.

Les passes doivent pouvoir être asséchées en hiver par une fermeture à l'amont afin de pouvoir les nettoyer en profondeur et les réparer. Cet assèchement peut être fait pour effectuer un comptage mais c'est long et cela arrête la montée pendant quelques heures. Le nettoyage en profondeur est indispensable pour avoir un courant d'appel d'eau optimal.

Toutes les passes utilisant de la paille, du bois, des fagots doivent voir ce matériel régulièrement renouvelé (JENS, 1982).

Lors du calcul des dimensionnements, la mesure des vitesses de l'eau peut se faire avec un tube de PITOT-DARCY ou un moulinet de WOLTMANN et celle des débits avec un déversoir spécial (LACHADENEDE, 1931).

Les moulins à eau disposés sur un biez détaché du cours d'eau principal attirent les poissons lorsqu'ils sont en action et il convient de prévoir deux passes à poissons, l'une à côté du moulin, l'autre sur le cours d'eau principal (Fig. 68) (JENS, 1982).

2.3. Comment étudier la remontée des poissons dans les passes ?

Différentes méthodes peuvent être utilisées :

2.3.1. - La passe à poissons peut être asséchée après l'arrêt du débit dans la passe et la fermeture des échappatoires des différentes cloisons transversales et les poissons se trouvant dans les bassins isolés peuvent être capturés, comptés et mesurés. Les poissons capturés sont mis dans des cuves d'eau qui doivent être aérées et changées fréquemment surtout en été. Les recherches doivent être faites plutôt par temps ensoleillé avec de hautes températures plutôt que par temps frais et pluvieux ; on peut profiter de ces assèchements pour le nettoyage de la passe (PELZ, 1985).

2.3.2. - Le procédé de circulation est applicable aux passes à cloisons déversantes. Il consiste à compter les poissons nageant à travers les échancrures dans les cloisons transversales supérieures; dans le cas de passes mixtes, on bouche les échappatoires du fond des cloisons (orifices noyés) afin de forcer les poissons à nager à travers les déversoirs du dessus. Un panneau peint en blanc immergé contre le débouché amont des passes, sur lequel se détachent les poissons, permet à un observateur de les pointer au fur et à mesure. (PELZ, 1985).

2.3.3. - On peut placer une grosse nasse à la sortie de la passe, on prend ainsi pratiquement tous les poissons qui passent (sauf pendant la période de la relève de la nasse) sans devoir être présent. La nasse peut être obstruée par des détritrus, trouée ou volée (PELZ, 1985).

Dans ces trois méthodes, les dégâts à court et moyen terme dus aux manipulations des poissons ne sont pas à exclure (PELZ, 1985).

2.3.4. TESCH (1964) décrit une méthode pour contrôler les évolutions des poissons dans les passes avec des échographes, mais elle ne donne qu'une idée assez grossière de l'intensité des déplacements des poissons.

2.3.5. On peut utiliser des cellules photoélectriques que le poisson coupe lors de son passage (HASLER et WHITNEY, 1946), cette méthode n'est valable que lors des moindres obscurcissements de l'eau.

Les poissons sortant de l'échelle doivent être contraints à intercepter les faisceaux lumineux de deux yeux électriques, disposés en connexion avec un enregistreur de telle sorte qu'il soit actionné seulement par les objets opaques se déplaçant à contre-courant afin d'éviter le déclenchement par les objets flottants en dévalaison.

2.3.6.- On peut mesurer les différences dans la conductibilité de l'eau qui se présentent lors de la nage des poissons à travers l'ouverture de fuite (MEYER - WAARDOEN et alii, 1975 ; VAN HAGEN et ROCKWELL, 1960 in PELZ, 1985). En effet, la conductibilité d'un corps de poisson est plus grande que celle de l'eau douce qu'il déplace ; l'amplitude des changements et l'ordre dans lequel ils ont lieu donne respectivement une information sur la taille du poisson traversant les électrodes et sur sa direction de passage ; des précautions doivent être prises contre l'incursion d'eau salée à marée haute dans les passes situées en estuaire car elle génère des mauvais comptages (BEACH, 1984).

2.3.7.- On peut étudier la remontée via la construction de chambres d'observations sous l'eau, dans les écluses à poissons notamment (ROCKWELL et CHUR, 1959).

2.3.7.- Dans le cas des ascenseurs à poissons, comme il a été vu précédemment, une caméra peut photographier les poissons contenus dans le carrelet avant leur déversement dans le bief amont.

2.3.9.- On peut également installer à l'aval d'une passe un dispositif de piégeage (LARINIER et TRIVELLADO, 1987).

3. LA SITUATION EN MEUSE

3.1. Description générale

3.1.1. Géographie et topographie de la Meuse

La Meuse coule dans un bassin versant d'environ 33 000 km². C'est un bassin international couvrant la France, la Belgique, les Pays-Bas, le Grand-Duché de Luxembourg et la République fédérale d'Allemagne, le cours essentiel traversant les trois premiers pays cités. En Belgique, la superficie du bassin versant couvre un peu moins de la moitié de celle de la Belgique (environ 40 %) et 75 % de celle de la Wallonie.

Le fleuve prend sa source à 402 mètres d'altitude sur le plateau de Langres dans le Bassigny en France. Il a une pente relativement élevée au départ qui va en s'amenuisant petit à petit (dans la région belge environ 0,2 à 0,25 %), cette pente a été fortement modifiée (surtout sur le tronçon belge) par la construction de barrages - écluses en modifiant l'écoulement et les caractéristiques naturelles du cours d'eau.

La Meuse s'écoule sur 492 km en France (Haute-Meuse), sur 194 km en Belgique (Meuse moyenne) et 235 km aux Pays-Bas (Basse-Meuse). Elle entre dans notre pays à proximité d'Hastière, coule vers le nord jusqu'à Namur puis prend la direction nord-est pour entrer aux Pays-Bas à Visé et se jeter finalement dans la mer du Nord. Son embouchure forme un delta dont les branches s'entremêlent avec celui du Rhin. Les principales agglomérations qu'elle traverse en Belgique sont Dinant, Namur, Huy et Liège.

La Meuse reçoit les eaux de plusieurs affluents importants. En France, il s'agit de la Chiers, de la Semois, du Viroin et de la Houille. En Belgique, la Meuse en amont de Namur collecte les eaux de l'Hermeton, de la Lesse, de la Moline, du Bocq et du Burnot. Namur est le confluent de la Meuse avec la Sambre. On désigne par Meuse moyenne supérieure la partie de la Meuse belge en amont de Namur. C'est là que se situent les trois passes à poissons qui feront l'objet de notre étude expérimentale. Les échelles de La Plante et

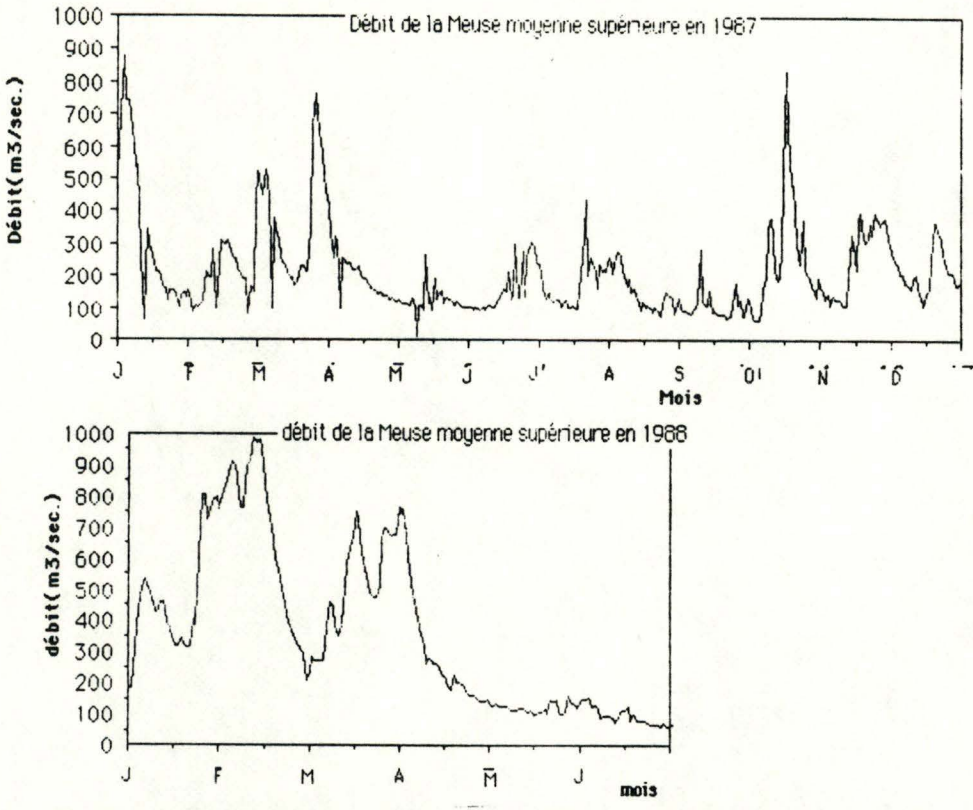


Fig.69: débit de la Meuse à CHOZ pour 1987 et le début de l'année 1988 (corrigé par un coefficient d'apport des affluents), (établi d'après les données de la CIBE)

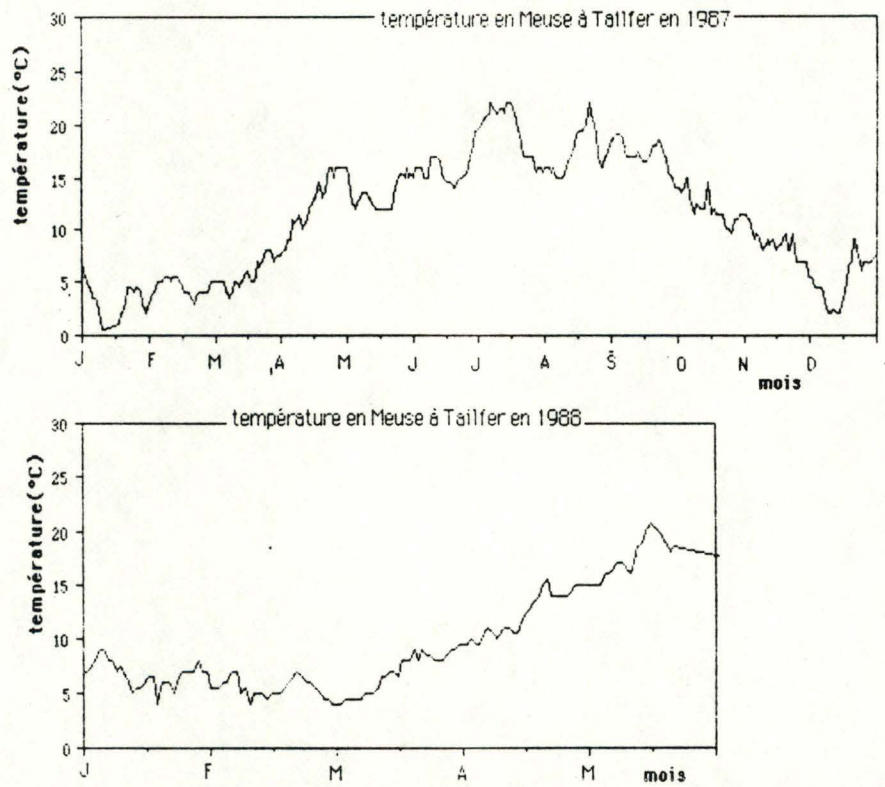


Fig.70: Température de la Meuse à TAILFER pour 1987 et le début de l'année 1988 (établi d'après les données de la CIBE)

Tailfer se situent entre Namur et le confluent avec le Burnot, l'échelle de Rivière se situe un peu en amont de celui-ci. En aval de Namur, la Meuse moyenne inférieure reçoit les eaux du Samson, de la Mehaigne, du Hoyoux, de l'Ourthe, de la Berwinne et du Geer. Aux Pays-Bas, ses principaux affluents sont le Roer et la Niers et elle prend dans ce pays le nom de Basse-Meuse.

(LEROY, 1987 ; MICHA, 1988 ; VERNIERS, com. pers.).

3.1.2. Hydrologie de la Meuse

3.1.2.1. Le débit (Fig. 69)

Le débit subit des variations saisonnières considérables. Le débit moyen annuel est de 250-300 m³/sec. Il présente un maximum vers février de 400 à 900 m³/sec. avec parfois des crues exceptionnelles (comme en 1925). Le débit moyen en hiver et au début du printemps est d'autant plus variable qu'il est sujet à des crues irrégulières dépendantes des précipitations et du dégel. Il diminue ensuite jusqu'au mois de juin puis se stabilise à faibles valeurs (30 m³/sec. mais parfois seulement quelques m³/sec. comme en 1976) durant la période d'étiage (juillet - août).

L'évolution du débit en fonction d'un profil en long montre que le débit augmente avec l'apport des affluents (Sambre, Ourthe) et diminue avec les retraits (canal Albert) (MICHA, 1988).

3.1.2.2. La température

La température passe par un minimum en janvier aux alentours de 2-4°C et par un maximum de 25-27°C en juillet-août. Son profil en long subit l'influence de centrales thermonucléaires et électro-nucléaires (Tihange) (GILLET, 1982 ; MICHA, 1988).

Nous disposons pour 1987 et pour les cinq premiers mois de 1988 des températures journalières à Tailfer. La figure 70 représente l'évolution de la température journalière à 8 H pour cette période. Pour ces deux années, en janvier et février, la température est assez stable et presque toujours inférieure à 8°C, elle subit parfois des chutes importantes comme en janvier 1987. En mars et avril, le réchauffement est régulier ; l'eau avoisine les 10°C fin mars et les 15°C fin avril. Entre mai et septembre, la température est assez

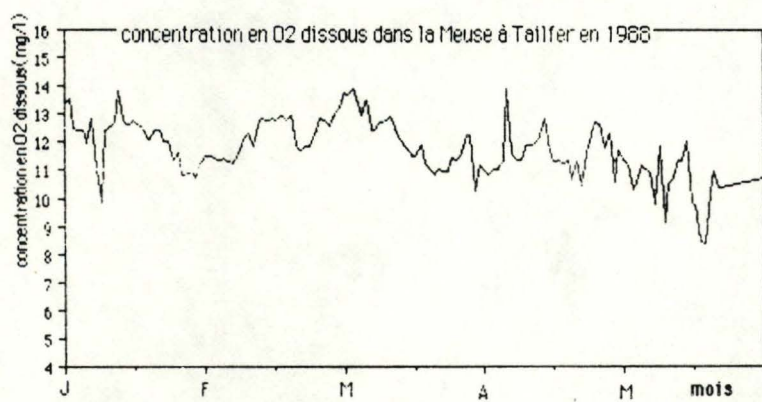
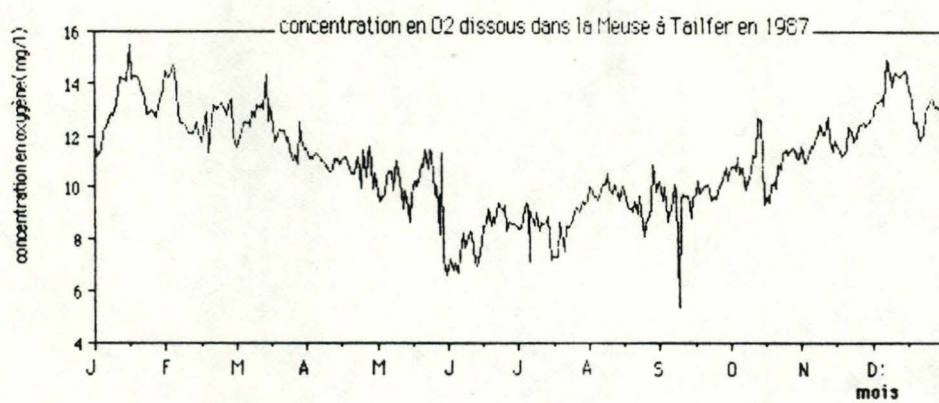


Fig. 7I: concentration de O₂ dissous dans l'eau de la Meuse à TAILFER pour 1987 et le début de l'année 1988 (établi d'après les données de la CIBE)

irrégulière avec des variations entre 12 et 22°C. A partir d'octobre, le refroidissement commence et en décembre la température est déjà susceptible d'atteindre les valeurs les plus basses (2°C) ; il semble que des réchauffements brusques soient toujours possibles (comme le 21 et le 22 décembre 1987).

3.1.3. Physicochimie de la Meuse

La qualité chimique de l'eau est du type calcaire riche avec une concentration de calcaire élevée sous forme de bicarbonates. La concentration en magnésium est élevée, la concentration en sodium et en potassium est faible mais non négligeable.

Le profil en long des éléments subit des modifications par apport de Cl^- , SO_4^{--} , Na^+ . La concentration en sulfates est élevée dès la source. L'apport en Ca CO_3 se fait surtout par la dissolution du substrat géologique en Lorraine et au nord du massif des Ardennes, cette dissolution entraîne une augmentation de la dureté de l'eau.

On peut distinguer trois zones dans la Meuse au point de vue des éléments minéraux :

- de la source jusqu'en amont de Namur : dominance du bicarbonate de calcium qui exprime 65 % de la conductivité électrique des eaux.
- entre Namur et l'amont de Loumont aux Pays-Bas : dominance du $\text{Ca (HCO}_3)_2$ à 45 % et du Na Cl à 40 %.
- en aval de Loumont : apport de K^+ et de SO_4^{--} .

Notons qu'il y a des apports des substances limitantes au niveau de la production primaire (NO_3^- et PO_4^{---} dans la région liégeoise). Ceci se fait surtout par des rejets de matières organiques qui augmente ainsi la biomasse bactérienne et végétale. La conséquence directe est une consommation de l' O_2 dissous telle que sa concentration peut descendre en-dessous de 5 mg/l (qui est le seuil de toxicité pour la faune piscicole) ; en aval de Liège, on remarque également des alternances de sursaturation et de désaturation en O_2 dissous tandis qu'à Namur les variations saisonnières de la saturation sont à peu près nulles et elle avoisine toujours les 100 % (MICHA, 1988 ; SERVAIS, 1988 ; VAN CRAENENBROECKE, 1988).

La Fig. 71 montre que, à Tailfer, la concentration en O_2 est susceptible de varier d'une manière importante bien qu'elle ne chute que très rarement à des niveaux fort bas.

3.1.4. Description sommaire de la biocénose de la Meuse

En Meuse, les macrophytes ne poussent qu'un peu en amont de Namur. Les algues filamenteuses sont représentées par des chromophytes, des chlorophytes, des rhodophytes. Cinq espèces de bryophytes sont retrouvées dans les eaux rapides et sur les radiers de barrage mais elles sont de moins en moins abondantes ; elles ont quasiment disparus en aval de Namur. L'apport d'azote et de phosphore modifie la quantité d'algues qu'on y trouve, notamment des chlorophycées et des diatomées, les premières se développent surtout en période chaude (été) et les secondes en période froide. Le périphyton (algues microscopiques fixées) voit disparaître les espèces sensibles à la pollution. Les quelques 200 espèces de diatomées permettent notamment de développer des méthodologies pour apprécier la qualité de l'eau. Les espèces alguales de la Meuse se retrouvent dans le Rhin et le Danube. La densité alguale de la Meuse peut atteindre un maximum de 25 000 cellules / ml soit 25 milliards de cellules / m³. La productivité primaire de la Meuse a un seuil maximum^{qui} est une fonction du climat en Europe tempérée (comme pour le Rhin, la Tamise et la Seine). La concentration en chlorophylle a dans la Meuse française atteint 300 mg/m³.

Les rotifères (qui atteignent parfois des densités élevées), les cladocères et les copépodes se nourrissent d'algues et leur densité varie le long de l'année. Sur le fond et sur les berges, on retrouve plus de 60 familles de macro-invertébrés benthiques avec un spectre diversifié ; ce sont principalement des annélides, des mollusques, des crustacés, des insectes (surtout des éphéméroptères et des trichoptères). Les poissons sont surtout représentés par la famille des Cyprinidés (gardon, chevesne, hotu, barbeau, etc...). Le sandre est une espèce introduite. La truite de mer est en voie de restauration naturelle et le saumon atlantique en voie de réintroduction.

Tous ces organismes végétaux et animaux exercent une fonction sur l'écosystème. De l'amont vers l'aval, les sels minéraux sont consommés par les végétaux, le phytoplancton est consommé par le zooplancton lui-même consommé par des macro-invertébrés benthiques ou des poissons (DESCY, 1988 ; MICHA, 1988).

Les caractères hydrographiques de la Meuse ne restent pas constants de sa source à son embouchure et comme tous les grands cours d'eau, elle passe successivement d'amont en aval par plusieurs zones successives caractérisées généralement par l'espèce principale de poissons qui les peuple. La zone à barbeau et la zone à brème font toutes les deux partie des eaux cyprinicoles. Les eaux de la zone à barbeau (auxquelles appartiennent celles de la Meuse en condition naturelle) sont assez lentes (0,2 à 0,5 m/sec) et le fond plus ou moins stable est formé de sable, de graviers ou de galets. Les variations saisonnières de la température sont importantes. Une végétation littorale nettement zonée s'est établie sur les berges empierrées. Le poisson dominant est le barbeau, il est accompagné de salmonides, de cyprins et de voraces. La zone à brème correspond au cours inférieur de la rivière, le lit est sablonneux ou vaseux, la rivière est large, la déclivité très faible et la salinité relativement élevée. On y rencontre un grand nombre d'invertébrés, de végétaux et de poissons. Les poissons dominants sont des Cyprinidés (brème, tanche, gardon, carpe) ainsi que des perches, des brochets, des anguilles. Ils sont accompagnés d'autres espèces (MAITLAND, 1977 ; MICHA, 1987a).

3.1.5. L'atteinte de l'écosystème de la Meuse

La diminution de la richesse floristique et faunistique de la Meuse que l'on a du déplorer particulièrement ces deux derniers siècles est principalement imputable à la pression sans cesse accrue de l'homme sur l'écosystème Meuse. Cet accroissement de pression résulte d'une part d'un accroissement démographique (qui tend cependant à faire marche arrière en cette fin de siècle) mais surtout d'un changement de mode de vie de la population qui accompagna la révolution industrielle du 19e siècle, changement entraînant une augmentation de l'utilisation de l'eau tant industrielle, ménagère et agricole (MICHA, 1987b). Nous allons nous efforcer de faire ici un bref passage en revue des différents aspects de l'impact de l'homme sur l'écosystème Meuse.

3.1.5.1. La pollution par les rejets industriels

Sur l'axe Sambre et Meuse, on rencontre essentiellement des industries chimiques, la sidérurgie à chaud et à froid, des carrières et fours à chaux, des centrales électriques, une grosse sucrerie et une brasserie importante. Les industries agro-alimentaires (abattoirs, etc...) sont situées sur les affluents ainsi que les papeteries et une usine importante de pâte à papier.

L'industrie chimique implantée le long de la Sambre rejette du Na Cl, utilisé d'une part pour la fabrication de carbonate de soude et d'autre part pour la fabrication par électrolyse de chlore et de soude caustique. Le problème essentiel de l'électrolyse est le déversement de mercure ; la fabrication de chlore se continue par la fabrication de produits chlorés avec rejet de 1-2 dichloro-éthane, de chloroforme, de tétrachlorure de carbone, de perchloro-éthylène, de benzène, d'hexachlorobenzène et d'hexachlorobutadiène. Toutes ces substances possèdent des propriétés cancérigènes.

L'usine de fabrication d'acide phosphorique et des super-phosphates sur la Meuse liégeoise rejette du fluor, du cadmium, du gypse et du phosphate.

Les cockeries de la région liégeoise sont responsables de déversement d'ammoniaque, de phénols, de cyanures et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques. La fermeture de nombreuses cockeries ces dernières années explique la diminution de ce type de pollution.

La sidérurgie à chaud rejette des polluants via les eaux de lavage : des cyanures, des matières en suspension, du zinc, du magnésium, du plomb et des fluorures.

Les laminoirs sont surtout responsables de déversement d'hydrocarbures et de matières tensio-actives. Il y a aussi des déversements d'hydrocarbures illicites ou accidentels dans les égouts, directement dans la Meuse ou via la navigation fluviale.

La pollution dans le domaine de la transformation à froid des métaux concerne les chromates, le nickel, le cuivre, le zinc et d'autres métaux, le trichloro-éthylène et le cyanure.

Les centrales électronucléaires construites à Tihange ou à construire à Chooz ne posent pas de problèmes au niveau de la radio-

activité. Les rejets thermiques sont modulés en aval de Tihange en fonction du débit de la Meuse. L'échauffement maximum autorisé pour les trois unités oscillent entre 4 et 5°C. Lorsque le débit de la Meuse est inférieur à 23 m³/sec., cette limite ne peut plus être respectée, l'échauffement dépasse 4°C et une des unités doit être mise au ralenti ou arrêtée. Les produits utilisés contre la croissance des mousses dans les circuits d'eau de refroidissement provoque un rejet de chlore dans la Meuse avec risque de formation de composés organo-chlorés cancérigènes. Cette formation d'organo-chlorés se produit également dans l'usine de pâte à papier qui déverse ses eaux usées dans le Thon dont les eaux nous revienne via la France ; cette formation est due à des chlorations intenses et dépend de la présence du chlore libre et de la pollution organique de la Meuse (de KERCKHOVE, 1988).

3.1.5.2. La pollution par les rejets d'eau usées domestiques

La charge polluante globale du bassin de la Meuse dans la région wallonne due aux déversements des eaux usées urbaines s'élève à environ 2,5 millions d'équivalents-habitants. La capacité globale des stations d'épuration construites dans ce bassin s'élève à 0,64 millions d'équivalents-habitants soit un taux d'épuration de 25 %. Ceci met en évidence le sous-équipement de la Meuse en stations d'épuration. Pour palier relativement à ce problème, la solution adoptée est d'améliorer certaines situations locales très critiques (de KERCKHOVE, 1988).

3.1.5.3. L'eutrophisation

L'eutrophisation est une prolifération des végétaux liée à la présence de nutriments en quantité très importante permettant leur développement lorsque le temps de séjour est suffisamment long. Elle concerne les végétaux planctoniques et les végétaux supérieurs. Elle entraîne des grandes amplitudes de variations de la concentration en O₂ dissous au cours d'un cycle de 24 h et également un problème lors de la brusque mortalité et décomposition de la biomasse alguale pendant l'arrière-saison (LEGLIZE, 1988).

Le développement de l'eutrophisation ces récentes années serait due à une augmentation de la transparence des eaux et à une

diminution de la pollution physique et organique. En effet, la qualité des eaux de la Meuse s'est certainement améliorée malgré les pollutions accidentelles spectaculaires. Cette amélioration est vraisemblablement la conséquence de l'effort entrepris par certaines industries et de l'impact de certaines directives européennes (de KERCKHOVE, 1988 ; SALLERON, 1988).

3.1.5.4. Les facteurs influençant la qualité de l'eau de la Meuse

Les processus régissant l'apparition et la disparition de substances dans l'eau sont des phénomènes :

- physiques : évaporation de substances plus ou moins volatiles, adsorption de matières hydrophobes ou de particules chargées sur des matières en suspension.
 - chimiques : complexation changeant la disponibilité et la toxicité des éléments, réactions rédox ou photochimiques changeant la nature chimique des substances.
 - biologiques : biodégradation, photosynthèse, nitrification.
- Tous ces phénomènes peuvent être décrits en constantes d'équilibres de cinétique et sont régis par la thermodynamique.

Les facteurs hydrologiques jouent sur quatre niveaux :

- le débit moyen de la Meuse étant faible suite aux captages, sa capacité de dilution est également faible.
- la Meuse étant une rivière à régime fluvial de type tempéré océanique, la concentration de certains polluants subit des variations certaines parallèlement à celles du débit.
- la capacité de dilution est fonction de la distance à la source car le débit augmente en fonction de la distance.
- les dispersions verticales et transversales provoquent le mélange d'un rejet ou d'un affluent avec l'ensemble des eaux de la rivière et la dispersion longitudinale est responsable de l'égalisation des pics de concentration au cours de leur déplacement vers l'aval.

Les points névralgiques affectant la qualité de l'eau de la Meuse sont :

- l'abondance en nutriments responsable de l'eutrophisation.
- la présence de micropolluants.
- la pollution par les cyanures provoquant la mortalité massive des poissons.

- la surcharge en matière organique biodégradable avec une température élevée en période d'étiage épuise l'oxygène et tue les poissons.
- les composés organo-chlorés ou halogénés qui combinent toxicité et faible biodégradabilité.
- les risques d'accidents chimiques et radioactifs.

(VAN CRAENENBROECKE, 1988).

3.1.5.5. Les conséquences de l'activité humaine sur la faune

L'eutrophisation et la pollution peuvent :

- perturber directement la faune en provoquant la mortalité des individus surtout lors de concentration aigüe de polluants.
- perturber indirectement en provoquant une disparition progressive de certaines espèces polluo-sensibles par modification dans la biologie de ces espèces (reproduction, longévité,...).
- accumuler des contaminants dans les organismes aquatiques.

La pollution thermique peut :

- augmenter le nombre d'individus des espèces benthiques thermophiles.
- provoquer un décalage de la période de reproduction.
- provoquer une augmentation de la croissance des poissons.

Certains contaminants peuvent s'accumuler dans des organismes aquatiques : les radioéléments comme le cobalt 60 et le manganèse 54 chez les moules d'eau douce, le césium 57 chez les poissons, les métaux lourds chez les poissons et les polychlorobiphényles chez les rotifères. Les activités des radioéléments diminuent depuis 1976 jusqu'à devenir actuellement inférieures ou égales aux limites de détections (GILLET, 1988).

3.1.5.6. Les différents facteurs susceptibles de nuire aux poissons

Nous venons d'étudier différents aspects de la pollution (chimique, organique, thermique, biologique) susceptibles d'atteindre la population piscicole du bassin de la Meuse. La pollution n'est pourtant pas la seule menace pesant sur les poissons. D'autres activités humaines peuvent aussi entrer en jeu ; parmi celles-ci, citons d'une manière non exhaustive :

- les prises d'eau des centrales hydroélectriques tuant les poissons qui sont pris dans les turbines.
 - les captages et les transferts d'eau qui provoquent des fluctuations de niveau, mettant à nu des endroits constituant des frayères privilégiées.
 - les aménagements hydrauliques des cours d'eau non naviguables, rendant les berges abruptes et inhospitalières, supprimant fréquemment la végétation littorale servant de nourriture et/ou de frayères pour certaines espèces.
 - la pêche et le braconnage qui surexploitent les stocks.
 - les aménagements piscicoles, notamment les rempoissonnements qui peuvent accroître la compétition intra et inter-spécifique et risquent d'introduire des maladies épizootiques.
 - les incidences des loisirs aquatiques susceptibles de nuire à la faune aquatique : baignades, ski nautique, déchets de campings.
 - les incidences des recherches scientifiques perturbant les poissons par des pêches électriques trop fréquentes et prélevant les espèces rares car étant les moins bien connues.
 - enfin, dernière action évoquée mais pas la moindre, la construction de barrages qui entravent les migrations vers les zones de frayères adéquates ou la circulation d'un bief à forte productivité vers un bief à faible productivité.
- (DELVINGT, 1988 ; PHILIPPART, 1988 ; PHILIPPART et VRANKEN, 1983).

3.1.5.7. La restauration de la faune piscicole

Le maintien de la faune piscicole se fait grâce à une surveillance contre le braconnage et les pollutions illicites, la création de frayères artificielles et grâce aux repeuplements. Ces derniers concernent principalement le gardon et le brochet et dans une moindre mesure la tanche, la perche et la carpe et quatre autres espèces soit neuf espèces en tout alors que selon l'UNECED, la Meuse abrite environ 38 espèces dont 19 cyprins (PHILIPPART et alii, 1988). Faisons remarquer que les repeuplements représentent peu de chose sur les biomasses (environ 2-3 %) et sur la productivité (environ 4-6 %) de la population naturelle. Ils peuvent avoir un impact génétique et sanitaire et doivent être faits à partir de souches locales (DELVINGT, 1988).

Si la qualité de l'eau de la Meuse continue l'amélioration qu'elle a amorcée ces dernières années, il s'avérerait possible de réintroduire des espèces de poissons autrefois disparues du fleuve.

La truite de mer semble d'ailleurs se réimplanter d'elle-même ; en 1983, il y a eu quatre captures en Belgique. Sa réapparition serait due à une amélioration de la qualité de l'eau de la Meuse d'une part et au repeuplement par des truites fario danoises dans lesquelles se trouvaient des truites de mer d'autre part. Une autre explication serait que des spécimens de Bretagne et de Basse-Normandie se soient trompés de cours d'eau de remontée (PHILIPPART, 1988).

Le saumon atlantique pourrait être réintroduit artificiellement à partir d'alevins relâchés dans des affluents de la Meuse (Samson, Ourthe, Semois). Cette réintroduction fait l'objet actuellement d'études et d'essais (PHILIPPART, 1988).

La restauration des populations des grands migrateurs nécessitera de toute façon de rendre possible le franchissement des grands obstacles.

3.2. Le problème de la normalisation du débit

3.2.1. La construction des barrages

La Meuse a fait l'objet de plusieurs aménagements pour la navigation depuis le XIXe siècle. A cette époque, les barrages étaient construits dans le but de maintenir un niveau d'eau suffisant pour la navigation à 1 350 tonnes, voire 2 000 tonnes à l'aval de Liège.

Les aménagements ont subi une modernisation depuis plus d'une vingtaine d'années avec une série de modifications pour la navigation à 9 000 tonnes en aval de Liège. Cette modernisation implique la construction de nouveaux barrages-écluses et des modifications dans les berges et la profondeur du lit afin de garantir une profondeur d'eau de 5 m à l'étiage. En amont de Namur, la seule modification serait le passage du tirant d'eau de 2,20 m à 2,40 m.

L'aménagement de la Meuse à 9 000 tonnes a entraîné la

suppression de 8 des 15 barrages de la Meuse moyenne inférieure mais a augmenté les dénivellations entre chaque bief. Dans la Meuse moyenne supérieure, aucun changement dans le nombre des barrages n'a été effectué (MICHA, 1985).

Dans la Meuse moyenne supérieure, les barrages commencent à s'ouvrir par une ouverture de fond lorsque le débit excède $200 \text{ m}^3/\text{sec}$. Ils sont totalement ouverts lorsque le débit dépasse $700 \text{ m}^3/\text{sec}$. A ce moment, les échelles à poissons ne sont plus alimentées en eau (GILLET, com. pers.).

3.2.2. Les échelles à poissons construites sur la Meuse

Des passes à poissons ont été installées également sur les barrages de la Meuse. Leur installation a entraîné des coûts très élevés (qui sont déterminé plus par la complexité du coffrage que par la quantité de béton à utiliser). Ceci témoigne d'un soucis manifeste de la part de la population humaine de porter secours au problème rencontré ici par les poissons. Mais ce qui compte avant tout pour les poissons n'est pas seulement la bonne intention de l'homme, mais aussi l'efficacité des dispositifs qu'il leur réserve. Ceux-ci sont de différents types possibles mais dans le cas de la Meuse, ils devront permettre aux grands migrateurs et aux poissons de la zone à barbeau de remonter vers les frayères. Les passes à poissons doivent aussi permettre aux espèces peu adaptées aux eaux rapides de rejoindre les zones de rivière d'où ils ont été déportés (par les lâchures brusques des barrages en temps de crue) ou qu'ils fuyaient à cause de la trop forte vitesse du courant (de GROOT et MUYRES, 1980). Elles devraient être efficaces aussi bien pour les cyprinicoles que pour les salmonicoles, y compris le saumon atlantique en voie de réintroduction dans notre pays.

3.2.2.1. Bref historique des passes de la Meuse

Au début des années 1880, des barrages furent construits sur la Meuse sans se soucier d'offrir aux poissons des dispositifs de franchissement efficaces.

De 1880 à 1900, la régression du saumon mosan fit prendre conscience du problème au gouvernement belge qui fit aménager des passes à poissons.

Dates des contrôles.		NOMBRE ET DIMENSIONS (en centimètres) DES POISSONS CAPTURES.								Observations	
		Truites fario	Truites arc-en-ciel	Hotus	Barbeaux	Cheveanes	Tanches	Gardons	Perches		Anguilles
1935											
Mai	21			1 (22)							
"	29	2 (15 à 35)		317 (15 à 35)	4 (30 à 45)	5 (40)	1 (25)				
Juin	1			41 (15 à 35)	2 (45)						
"	6	3 (30 à 50)		62 (12 à 35)	1 (25)	2 (18 à 30)					
"	11	1 (35)		1,497 (12 à 35)	14 (19 à 50)	7 (19 à 30)				2 (60 à 80)	
"	13	3 (19 à 38)		110 (12 à 35)		1 (20)	1 (35)				
"	17		2 (15 à 20)	42 (13 à 35)	3 (20 à 28)	2 (25 à 30)					
"	24	1 (35)		17 (20 à 40)	3 (25 à 40)						
"	28		2 (20 à 25)	164 (13 à 40)	9 (20 à 40)	6 (20 à 35)				4 (50 à 60)	
Juillet	6	2 (22 à 30)		165 (13 à 50)	4 (30 à 40)	11 (25 à 30)		2 (12 à 23)			
"	9	1 (24)	3 (18 à 23)	60 (15 à 40)							
"	16	1 (30)	1 (30)	246 (15 à 40)	1 (25)	12 (14 à 35)		2 (15)	1 (10)		
"	23					4 (18 à 25)		5 (12 à 15)	1 (10)		
"	30			1 (15)		7 (18 à 25)	1 (40)	1 (12)	1 (10)		
Août	6			2 (25)				4 (10)	1 (13)		
"	20					4 (17 à 18)		1 (11)			
Septembre	3	1 (28)				4 (20)			1 (8)		
"	17							1 (15)	1 (8)		
Octobre	1			2 (25)		2 (20 à 25)			2 (10 à 15)		
Novembre	6 (1)										
"	20	4 (20 à 50)	1 (30)								
TOTAUX ..		19	9	2,727	40	67	3	16	7	6	

(1) Les eaux étaient en crue. L'entrée de la nasse était déformée et ne permettait pas le passage des poissons.

Tableau 5 : Résultats des contrôles de l'échelle de la rive gauche du barrage d'Angleur effectués de mai à novembre 1935 (corrigé d'après DENIL, 1936).

Les premières passes à saumons installées sur les barrages de Visé et de Hermalle-sous-Argenteau sur la Meuse dans les années 1890 étaient des échelles tubulaires obscures et étroites, empêchant tout effort musculaire efficace (MAES, 1898 in PHILIPPART, 1985).

L'aménagement d'ouvertures à rideaux sur des barrages à fermettes de la Meuse se révélèrent aussi inutiles (MAES, 1898 in PHILIPPART, 1985).

Les premiers spécialistes belges des passes à poissons furent Monsieur DEBEIL, qui chercha des solutions applicables aux barrages de la Meuse de la fin du XIXe siècle et Monsieur FENDIUS, son successeur au service spécial de la Meuse. Ni l'un ni l'autre ne purent se faire une idée claire du type idéal de passe à adopter malgré leurs visites chez les experts étrangers et la documentation abondante qu'ils avaient recueillie. Monsieur FENDIUS émit toutefois une préférence pour le type CAMERE, celui-ci permit au saumon de se maintenir dans la Meuse liégeoise et la basse Ourthe en nombre non négligeable grâce à son installation sur le barrage de Visé (en 1894?) et au barrage de Tilff sur l'Ourthe (en 1895) (PHILIPPART, 1985). Des essais de l'échelle CAMERE réalisés en 1908 sur le barrage d'Angleur sur l'Ourthe se révélèrent inefficaces même pour les puissants saumons. En 1909, DENIL remplaça avec succès cette échelle par la première échelle qui porte son nom et elle se montra alors très efficace (tableau 5) ; elle fut adoptée pour la Meuse (DENIL, 1936). Faisons tout de même remarquer que ses dimensions réduites par rapport à l'importance du barrage ne permettait que le passage d'une faible proportion des saumons qui se présentaient à l'aval (GOFFIN, 1910 in PHILIPPART, 1985).

Les passes à ralentisseurs construites au début du siècle à Monsin en Meuse belge et à Roermond en Meuse néerlandaise étaient efficaces pour toutes les espèces de la Meuse, carpes et brochets exclus. Les barbeaux et les hotus fournissaient le gros contingent des poissons qui les empruntaient. Il semble qu'un triage s'opérait au niveau de ces deux espèces dans le bief entre Monsin et Angleur, le barbeau se maintenant plus dans son bief et le hotu cherchant à franchir le barrage de Monsin afin de regagner ses frayères dans l'Ourthe. Les chevesnes n'étaient pas abondants dans les échelles, les gardons et les perches remontaient peu et

Tableau 6

Liste des obstacles à la remontée des poissons de l'embouchure jusqu'à la frontière franco-belge sur la Meuse.

(GILLET, com. pers. ; MICHA, 1985 ; VAN DER SCHAFT, com. pers.)

* barrage en projet

o inauguration en 1988

+ barrage en discussion

** nouvelle cote en projet

Nom du barrage	Différence dans niveaux d'eau	Type d'échelles à poissons	Situation de l'échelle
Lith	3,25 m environ	1 DENIL 1 écluse à poissons	rive droite (nord) rive gauche (sud)
Grave	3,00 m	1 DENIL	pile centrale
Sambeek	3,25 m	1 DENIL	pile centrale
Belfeld	3,25 m	1 DENIL	pile centrale
Roermond	2,75 m	2 DENIL	1 dans pile centrale 1 rive gauche (ouest)
Linne	3,65 m	2 DENIL	1 dans pile centrale 1 rive gauche (ouest)
Borgharen	3,90 m	1 DENIL	pile centrale
Lixhe	5,5-6,0 m (1)	1 à bassins + goulotte à anguilles	rive droite
Argenteau (disparition prévue pour 1989-1990)	1,0 m	1 à bassins	rive droite de l'île
Monsin	5,7 m (6,3 m) **	3 DENIL	1 dans culée droite 2 dans piles centrale
Ivoz-Ramet	4,45 m	2 DENIL	1 rive droite 1 rive gauche
Ampsin-Neuville	4,7-4,8 m	2 DENIL	1 rive droite 1 rive gauche
Andenne	5,0-5,25 m	1 à bassins	rive gauche
Grands malades	3,9-4,2 m	1 à bassins	rive gauche
La Plante	1,5-1,7 m	1 à bassins + goulotte à anguilles	rive droite
Tailfer	2,0 m	1 à bassins + goulotte à anguilles	rive droite

Tableau 6 (suite)

Nom du barrage	Différence dans niveaux d'eau	Type d'échelles à poissons	Situation de l'échelle
Rivière	2,1 m	1 à bassins + goulotte à anguilles	rive droite
Hun	2,8-2,9 m	1 à bassins + goulotte à anguilles	rive droite
Houx °	2,0 m	2 à bassins + goulottes à anguilles	1 rive droite 1 rive gauche (bords de l'île)
Dinant °	2,0 m	1 à bassins + goulottes à anguilles	rive droite
Anseremme °	2,3 m	2 à bassins + goulotte à anguilles	1 rive droite 1 rive gauche (bords de l'île)
Waulsort +	2,9 m		
Hastièrre *	2,9 m	1 à bassin + goulotte à anguilles	rive droite

(1) cette dénivellation sera portée à 7 m puis à 8 m dans les prochaines années.

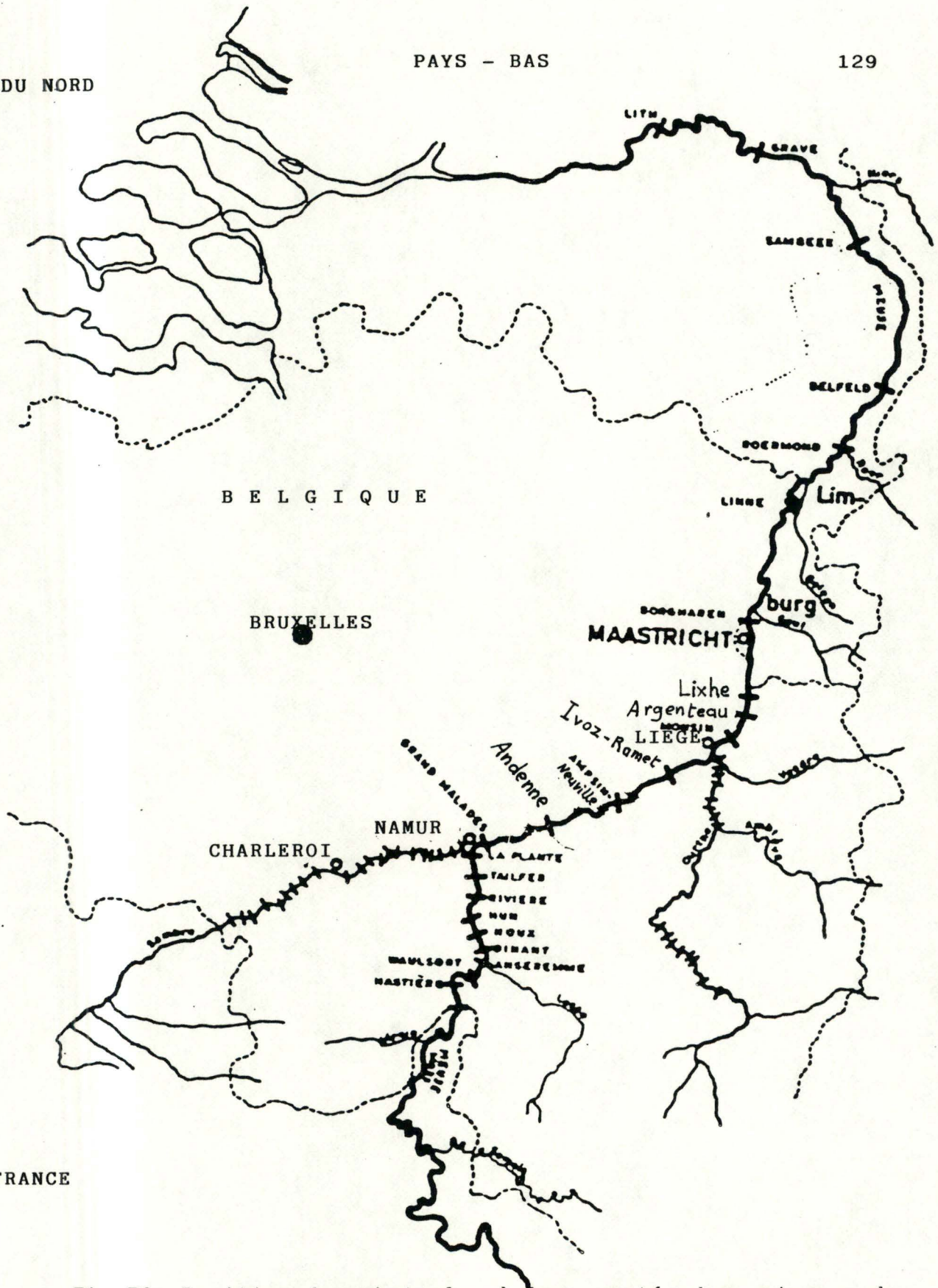
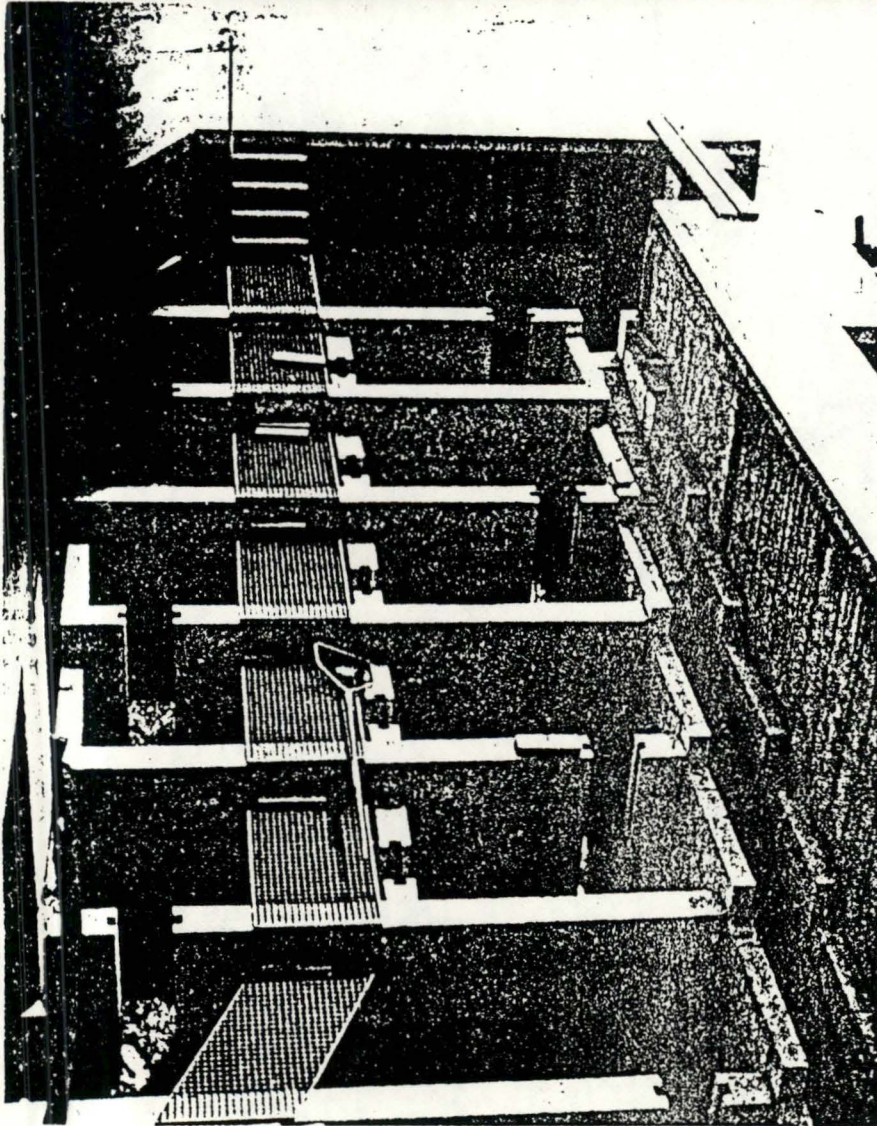
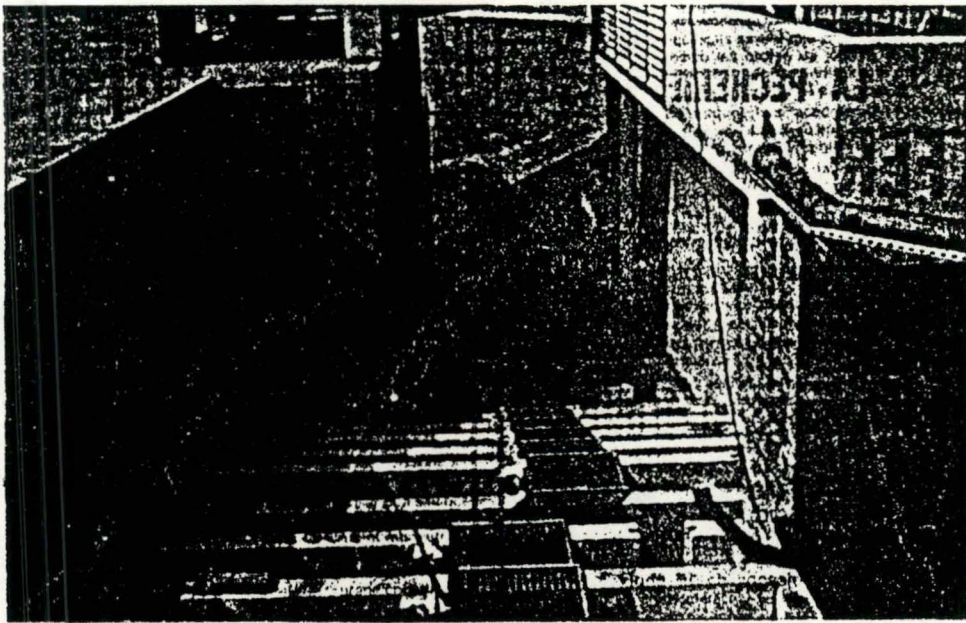


Fig.72: Position des obstacles à la remontée des poissons de l'embouchure jusqu'à la frontière franco-belge sur la Meuse.
 (modifié d'après ORGANISATIE TER VERBETERING VAN DE BINNENVISSERIJ, 1987)



Partie supérieure de l'échelle.

Fig.73 : Parties inférieure et supérieure de l'échelle de Lixhe (d'après HOUBART, 1981).

seulement les petits. Seules les échelles de rive avec le courant de sortie dirigé obliquement par rapport au courant général de la rivière se montraient efficaces (DENIL, 1936).

3.2.3. Inventaire systématique des obstacles à la progression des poissons dans la Meuse et des passes qui y sont construites

Nous avons établis la liste des obstacles à la progression des poissons dans la Meuse avec leurs principales caractéristiques. Elle est reprise dans le tableau 6 et illustrée par la figure 72.

3.2.4. Etude plus détaillée des différentes passes de la Meuse

3.2.4.1. Les passes des barrages néerlandais

Les renseignements que nous possédons à leur sujet ne dépassent pas ceux que nous avons déjà mentionnés dans la liste constituant le tableau 6. Toutes les échelles néerlandaises sont des échelles DENIL et à Lith, l'écluse à poissons est aussi pourvue d'une goulotte à anguilles.

Il est prévu de remplacer toutes ces passes en 1995 par des sortes de rivières artificielles aménagées sur les rives (passes rustiques).

3.2.4.2. La passe du barrage de Lixhe (Fig. 73)

- Position : elle est située sur la rive droite et son ouverture est dirigée vers le canal de sortie d'une centrale hydroélectrique d'une puissance de 2 200 KW. Le courant de sortie de l'échelle est à peu près parallèle à celui du canal de fuite de la centrale. Le débit important transitant par la centrale ($320\text{m}^3/\text{sec.}$) devrait assurer une bonne attractivité du poisson dans ce canal de fuite et donc vers l'échelle (GILLET, com. pers.). Cette passe a subi des améliorations techniques notables en 1981 grâce à Monsieur TIMMERMANS (HOUBART, 1981).

- Description : la passe à poissons est une passe à bassins successifs munie de cloisons transversales à échancrures latérales. Elle comporte 56 bassins comprenant successivement : 1 bassin d'entrée de l'eau de 3,6 m x 1,65 m, 10 bassins, 1 bassin-repos de 5,35 m x 1,1 m, 12 bassins, 1 bassin-repos de 3,35 m x 1,50 m,

10 bassins, 1 bassin-repos de 2,7 m x 1 m, 19 bassins, 1 bassin de sortie d'eau et d'entrée des poissons. La profondeur maximale des bassins est de 1 m, les bassins qui ne sont pas de repos ou d'entrée ont des longueurs variant entre 0,9 et 1,6 m en passant par 1,10 m. La dénivellation entre deux bassins est de 15 cm. Le réglage du débit se fait par un ajustement de la cote de l'échancrure grâce à des planches. Des planches peuvent également être glissées à l'entrée du bassin amont pour empêcher l'eau d'y entrer. La tête amont n'est pas pourvue de système de protection contre les objets flottants. Une passe à anguilles large de 40 cm, profonde de 30 cm et d'une pente de 18 % est installée à côté de la passe à bassins successifs (GILLET, com. pers.).

3.2.4.3. La passe à poissons du barrage d'Argenteau

Il n'est pas très intéressant de s'attarder à son sujet, sa disparition étant prévue pour l'année prochaine (1989) (GILLET, com. pers.).

3.2.4.4. Les passes à poissons du barrage de Monsin

- Position : Il y a deux passes dans les piles du barrage et une dans la culée de la rive droite. En période normale, le débit principal ($450 \text{ m}^3/\text{sec.}$) vient du canal de fuite de la centrale hydro-électrique (d'une puissance de 20 000 KW) mais les entrées des échelles sont assez éloignées de ce canal de fuite qui est situé sur la rive gauche. Il faudrait donc prévoir une passe supplémentaire dont l'entrée serait située dans le canal de fuite ou s'arranger pour détourner les poissons à partir du canal de fuite vers l'entrée des passes déjà existantes. L'accès aux entrées pourra être perturbé par la variation du niveau du bief aval qu'entraînera la suppression du barrage d'Argenteau.

- Description : les trois passes sont des passes à ralentisseurs DENIL d'une largeur de 1,6 m et d'une pente de 25 %. L'échelle de la rive droite est constituée de deux volées de ralentisseurs. La volée amont a une longueur de 8,60 m et la volée aval mesure 10,40 m. Elles sont séparées par un bassin de repos de 3,5 m x 3,2 m et elles assurent des dénivellations respectives de 2,15 m et de 2,60 m. Les échelles situées dans les piles du barrage sont constituées d'une seule volée de ralentisseurs d'une longueur de 19,6 m et assurent

une dénivellation de 4,9 m. Ces échelles ne sont pas munies en amont d'un système de protection contre les débris flottants. Le réglage du débit se fait à l'entrée par des planchettes métalliques (GILLET, com. pers.).

3.2.4.5. Les passes à poissons du barrage d'Ivoz-Ramet

- Position : il y a deux passes situées dans les culées gauche et droite du barrage. Une centrale hydroélectrique est installée en rive gauche, elle a une puissance de 10 000 KW et le débit nécessaire est de $280 \text{ m}^3/\text{sec}$. La sortie d'eau de l'échelle est située loin en amont du rejet de cette centrale, perturbant ainsi l'accès des poissons à l'échelle.

- Description : il s'agit d'une échelle à ralentisseurs d'une pente de 25 % et d'une largeur de 1,6 m. Elle comprend deux volées faisant 10,2 m et 9,8 m et assurant des dénivellations respectives de 2,5 m et de 2,4 m. Un bac de repos de 2,7 m x 1,6 m et d'une profondeur de 1,7 m est installé entre les deux volées. La partie supérieure de l'échelle est constituée d'un long couloir d'environ 25 m et d'une largeur de 1,6 m suivi d'un bac de 3 m x 3 m dans lequel arrive l'échelle. La profondeur dans cette partie est de l'ordre de 2 m. Il existe un ressaut important entre le premier bac et la volée amont qui devrait nuire à la remontée des cyprins, ce ressaut est probablement lié à des casses de ralentisseurs. (GILLET, com. pers.)

3.2.4.6. Les passes à poissons du barrage d'Ampsin-Neuville

- Position : il y a deux passes situées dans les culées gauche et droite du barrage. Une centrale hydroélectrique est installée en rive gauche, elle a une puissance de 10 000 KW et un débit de $250 \text{ m}^3/\text{sec}$. La sortie d'eau de l'échelle est à quelques mètres en amont du canal de fuite de la centrale.

- Description : la passe comprend trois volées de ralentisseurs. Chacune a une largeur de 1,6 m, une pente de 25 %, une longueur de 8 m et assure une dénivellation de 1,6 m. Chaque volée est séparée des autres par un bassin de repos de 2,80 m de long. L'entrée d'eau de la passe est constituée d'un bac d'environ 4 m de long en pente douce pour permettre une vidange efficace de l'échelle. Le réglage

du débit se fait par des planches ; lorsqu'il est réalisé de manière à permettre le passage des cyprins, une dénivellation d'environ 50 cm empêche les poissons de franchir les planches. Il n'y a pas de protection en amont contre les corps flottants.

(GILLET, com. pers.).

3.2.4.7. Les passes à poissons d'Andenne et des Grands-Malades à Beez

- Position : il n'y a qu'une seule échelle à chaque barrage, située sur la rive gauche. Pour chaque barrage, il y a une centrale hydro-électrique sur le côté droit du fleuve, celle d'Andenne a une puissance de 9 000 KW et celle des Grands-Malades aura une puissance de 6 000 KW. Dans chaque cas, les échelles sont donc situées à l'opposé du canal de fuite des centrales.

- Description : les échelles sont des passes à bassins successifs à cloisons déversantes sans échancrures c'est-à-dire que l'eau passe d'un bassin à l'autre sur toute la largeur de la cloison. Il y a 30 bassins à Andenne et 29 bassins aux Grands-Malades, sans compter le bassin d'accès et le bassin de sortie. Les bassins sont profonds de 75 cm, ont en général une longueur de 90 cm pour une largeur de 70 cm. La dénivellation entre les bassins est de 15 cm. Le réglage du débit se fait à l'aide de planches et il n'existe pas de protection amont et aval contre les objets flottants. (GILLET, com. pers.).

3.2.4.8. Les passes à poissons des barrages de la Meuse moyenne supérieure

Tous les barrages de la Meuse moyenne supérieure sont dépourvus de centrales hydroélectriques. Les dénivellations sont toujours faibles (1,70 m à 1,90 m).

- Position : les échelles sont toujours en rive droite. A Anseremme et à Houx, il existe deux échelles de part et d'autre de l'île sur laquelle est construite le barrage.

- Description : nous allons décrire avec plus de détails les passes à poissons de la Plante, Tailfer et Rivière car c'est dans celles-ci que nous allons étudier expérimentalement la remontée des poissons.

- Description des passes à poissons des barrages de La Plante,

Tableau 7

Caractéristiques techniques des passes à poissons à bassins successifs de La Plante, Tailfer et Rivière.

	La Plante	Tailfer	Rivière
Dénivellation	1,90 m	2,0 m	2,05 m
Nombre de bassins	14	14	13
Dénivellé entre chaque bassin	0,15 m	0,145 m sauf pour le 1 ^{er} bassin (0,13 m) et les 5 suivants (0,14 m)	0,15 m
Grillage amont	barres d'une hauteur de 700 mm positionnées parallèlement par rapport au courant et distancées de 80 mm d'axes en axes	idem que La Plante	pàs encore installé
Dimensions des bassins	longueur : 1,95 m largeur : 1,50 m profondeur : 0,75 m épaisseur des cloisons : 0,25 m hauteur : 0,95 m	idem que La Plante	idem que La Plante
Dimension des échancrures entre 2 bassins	largeur : 0,35 m hauteur maximum : 0,95 m hauteur réelle : réglée par des planches	idem que La Plante	largeur : 0,40 m pour le reste, identique que La Plante
Profondeur de la goulotte Largeur de la goulotte à an- guilles et de l'adduction d'eau	0,50 m 0,30 m	0,50 m 0,30 m	0,50 m 0,30 m
Inclinaison de la tête amont	45°	45°	45°

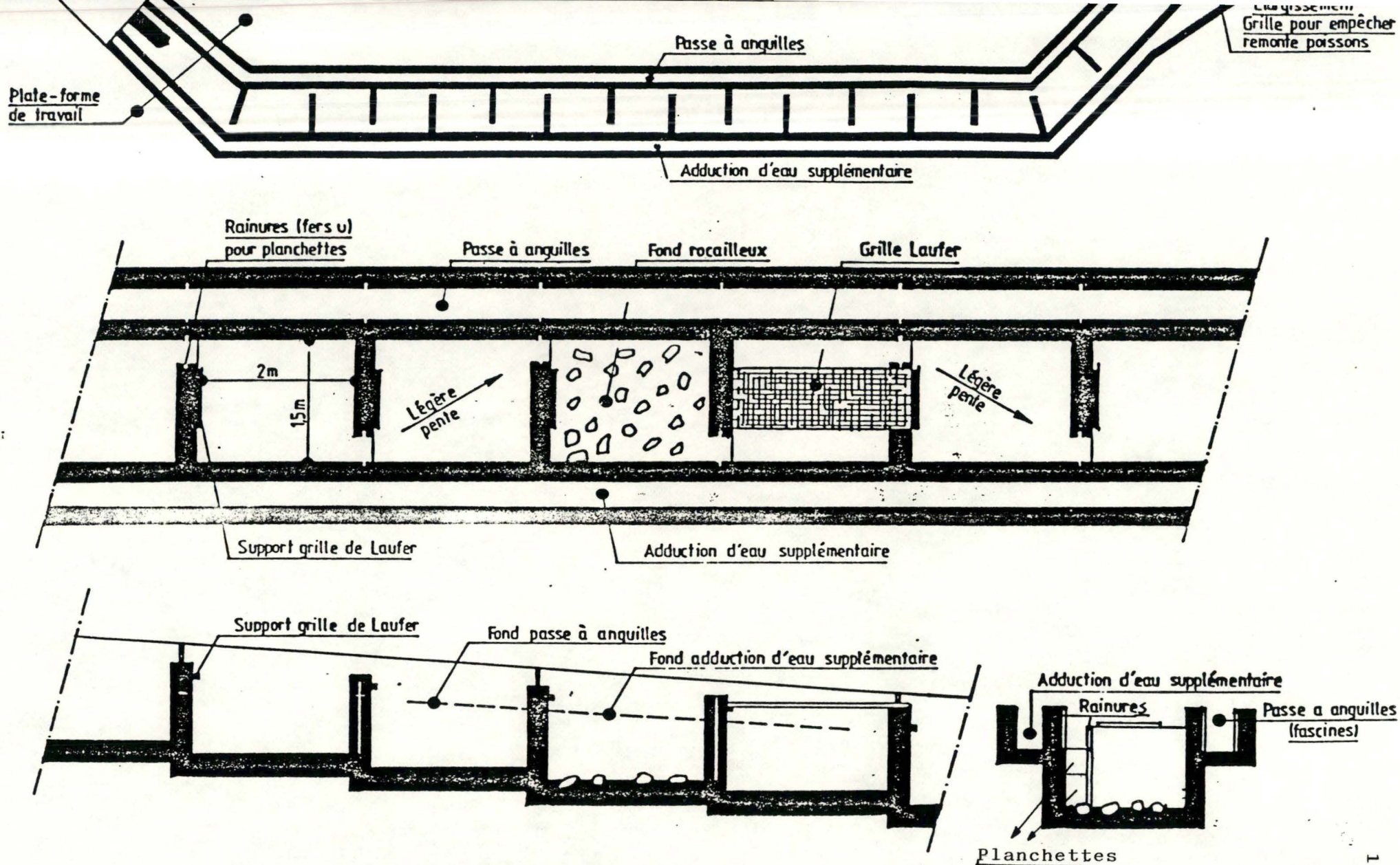


Figure 74 : Schéma de l'échelle type gradin (ou escalier) avec passe ou goulette à anguilles
 (modifié d'après TIMMERMANS, 1982 in MICHA, 1985).



Photographie de la passe à poissons de TAILFER.

bleau 8 : Recensement des sites de fraye (effectifs et potentiels) de la Meuse moyenne supérieure (mai 1988) (d'après VERNIERS, 1988).

	Situation (km - rive)	Longueur (km ±)	Type de berge	Espèces	Remarques
Agimont	Rive droite km frontière → pont Heer	1,9	naturelle + roselières		
	Rive droite Meuse	1,8	naturelle		
	+ île d'Androssart	0,7			
	+ île Cumont	0,1			
	Total	4,5			
re	Rive gauche amont écluse nouvelle frayère km 3,4				
	Rive droite et gauche aval barrage	1,2	enrochements naturelle (+ roselières)	gardon, brème, perche, ablette	menacée de disparition (construction barrage d'Hastière)
	Rive droite → île Hastière km 3,9	0,1			
	Noüe de Waulsort km 8	0,9	naturelles	gardon, brochet, perche, brème	Probl. niveau eau - canal d'entrée bouché
	Total	2,2			
ort	Rive gauche mole km 8,5	0,6	ancien perré	brochet, sandre perche	menacée de disparition (construction barrage de Waulsort)
	Rive droite île de Waulsort				
	Rive droite km 10,7	1,4	naturelle		piste de vitesse
	Noüe du Colèbi km 12	0,5	naturelle	gardon, perche, grémillie, sandre, brochet	fort envasée
	Total	5,4			
emme	-	-	-	-	-
	Darse de Bouvignes km 21,5	0,5	?	tttes sp.	à protéger
	Rive droite - pointe aval île d'Al Golette km 22,4	0,1	naturelle		
	Rive droite km ±22	1,1	naturelle + ancien perré		
	Total	1,7			
e	Rive droite km 25	1,4	naturelle (+ roselières)		
	Noüe Champalle km 25,2	0,4	naturelle		
	Rive droite île Yvoir km 26,8	0,3	murs bétonnés		à vérifier - fort envasé
	Rive droite -aval Bocq km 27	0,7	naturelle		
	Total	2,4			
r	Rive droite km 31,3	0,3	naturelle		
	Rive droite île de Godinne km 32	0,6	naturelle	gardon	
	Total	0,9			
	Rive droite niv. île du Champinoit km 34,7	?	naturelle + enrochements	Brème, gardon, brochet	
	Rive droite (CIBE) km 35,7	1,6	naturelle + enrochements		
Noüe de Tailfer km 38,8	0,8	naturelle		nécessité d'un curage problème d'entrée d'eau	
ante	Total	2,4			
	Rive droite km 40,4	0,9	naturelle		
	Berges gauche et droite île de Dave km 40,4	2,0	naturelle		
	Rive droite plage d'Amée km 43,2	0,6	gabions		
	Rive droite et gauche île Va's-Ti-Frotte km 44	1,4	naturelle		
Total	4,9				
te	Rive droite km 45,5	0,2	perré		frayère artificielle de Jambes
	Total	0,2			
AL GENERAL		24,6			

Tailfer et Rivière : nous allons les décrire suivant les plans aimablement communiqués par Monsieur l'Ir DERMIENCE, du service de la Meuse namuroise. Ces plans ont été dressés en 1983. Le tableau 7 donne les caractéristiques techniques de ces passes, la figure 74 représente une de ces passes, et la photographie l'illustre.

- Description des passes à poissons des autres barrages de la Meuse moyenne supérieure : les autres passes à poissons des barrages de la Meuse moyenne supérieure sont également des passes à bassins successifs à échancrures latérales, elles comprennent de 13 à 19 paliers séparés chacun d'une dénivellation d'environ 0,15 m. La profondeur maximale des bassins est de 0,75 m, leurs longueurs est de 2 m et leurs largeurs de 1,5 m. Le niveau, tant amont qu'aval, ne sera pas respecté par rapport à ce qui est prévu sur le plan à cause de l'augmentation du tiran d'eau de 20 cm prévue lors des prochains aménagements.

Remarquons l'importance que peut revêtir un bon fonctionnement de ces passes pour la réussite du frai en Meuse moyenne supérieure. Dans cette partie de la Meuse, on a en effet relevé pas moins d'une trentaine de sites de frayes totalisant une longueur approximative de 24,6 km (VERNIERS, 1988) (voir tableau 8).

3.2.4.9. Conclusion sommaire de l'étude des passes de la Meuse

Nous pouvons dire que pratiquement toutes les passes à poissons de la Meuse, à part celle de Lixhe, présentent des défauts dans la construction et le positionnement. Ces défauts ne sont pas seulement imputables à des erreurs de conception mais aussi à des erreurs dans la réalisation (les plans n'étant pas toujours respectés) ou à la présence gênante des centrales hydroélectriques. Notons que certaines déficiences, telles que l'absence de systèmes de protection contre des déchets flottants en amont et en aval, ne devraient pas poser de grands problèmes à ceux qui seraient chargés d'y porter remède.

Tableau 9Remontée des poissons via l'écluse à poissons de Lith

(de GROOT et MUYRES, 1980)

Année	Nombre de poissons ayant remonté	Nombre de jours de l'année où il y a eu une remontée
1975	8 351	221
1976	20 259	245
1977	-	-
1978	6 300	191
1979	4 464	166

Tableau 10Remontée des anguilles par la goulotte à anguilles de Lith

(de GROOT et MUYRES, 1980)

Année	Biomasse des anguilles ayant remonté en Kg
1975	2 232
1976	1 220
1977	1 340
1978	1 507
1979	2 824

Tableau 11

Remontée des poissons par l'écluse à poissons de Lith détaillée
par espèces de poissons (de GROOT et MUYRES, 1980)

Année Espèces	1975		1976		1978		1979	
	Nombre de poissons	%	Nombre de poissons	%	Nombre de poissons	%	Nombre de poissons	%
Brème	1 012	12	910	4	684	1	1 395	31
Brème bordelière	182	2	57	-	147	2	14	-
Tanche	4	-	0	0	3	-	3	-
Carpe	25	-	6	-	6	-	2	-
Loche d'étang	1	-	0	0	0	0	0	0
Grémille	1 544	18	4 006	20	282	5	11	-
Gardon	1 922	23	7 506	37	2 623	42	1 856	42
Rotengle	3	-	1	-	1	-	1	-
Ablette	89	1	233	1	1 134	18	481	11
Perche	2 507	30	6 224	31	785	13	400	9
Sandre	25	-	28	-	0	0	1	-
Brochet	1	-	3	-	1	-	0	0
Sous-total pour la zone à brème	7 315	86	18 974	93	5 666	91	4 164	93
Barbeau	2	-	1	-	0	0	0	0
Hotu	1	-	0	0	2	-	0	0
Chevesne	7	-	1	-	0	0	2	-
Chabot	2	-	20	-	0	0	0	0
Ide mélanote	6	-	5	-	0	0	0	0
Truite de rivière	0	0	1	-	0	0	0	0
Truite arc-en-ciel	0	0	2	-	1	-	0	0
Sous-total pour la zone à barbeaux	18	-	30	-	3	-	4	-
Anguille	1 004	12	1 245	6	597	9	264	6
Lamproie marine	6	-	0	0	16	-	17	-
Truite de mer	8	-	10	-	18	-	15	-
Sous-total pour les poissons amphibiotes	1 018	12	1 255	6	631	9	296	6
Total	8 351	98	20 259	99	6 300	100	4 464	99

Nombre de poissons

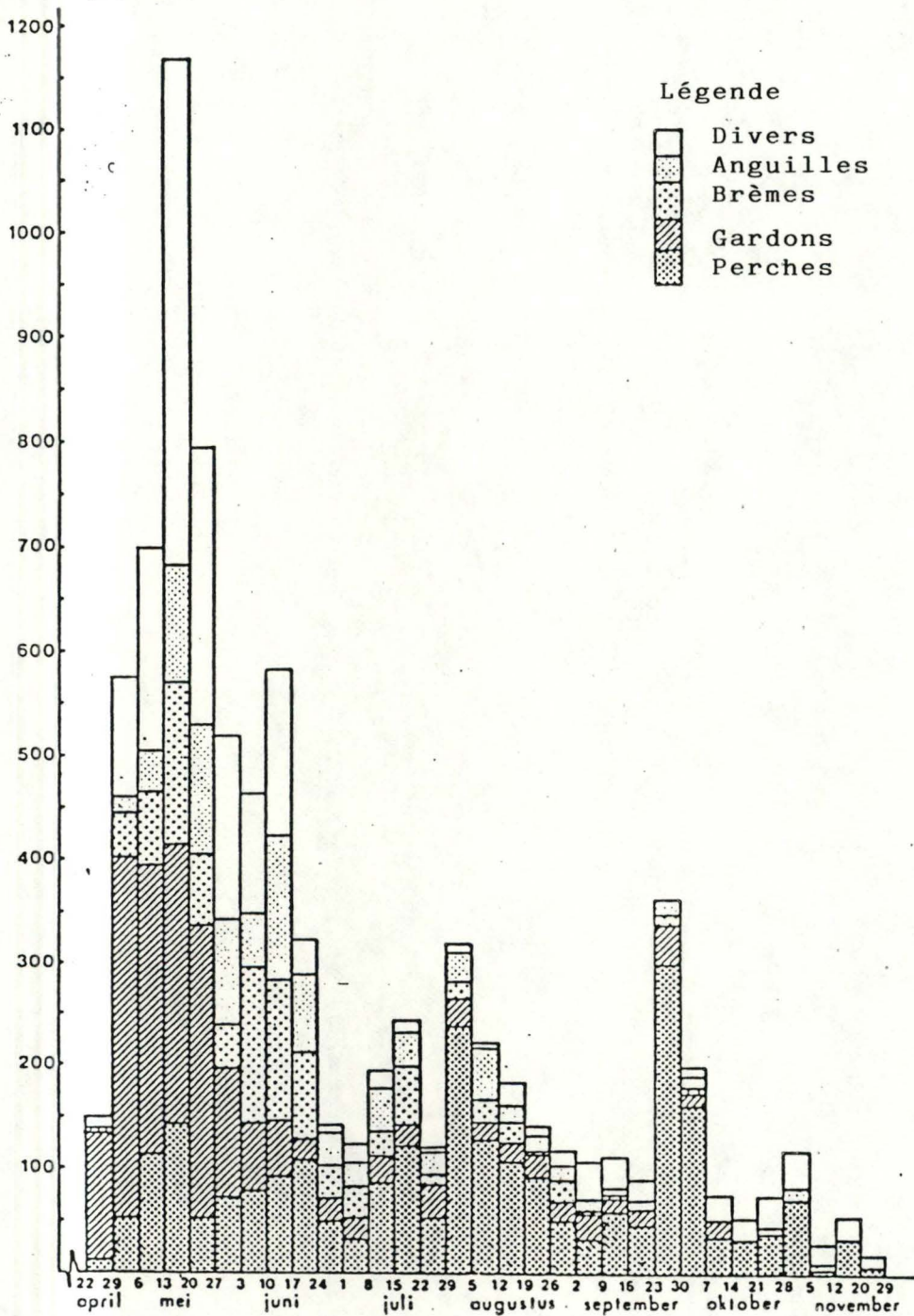


Fig. 75 : Répartition des captures à l'écluse à poissons de Lith le long de l'année 1975 (d'après de GROOT et MUYRES, 1980).

Nombre de poissons

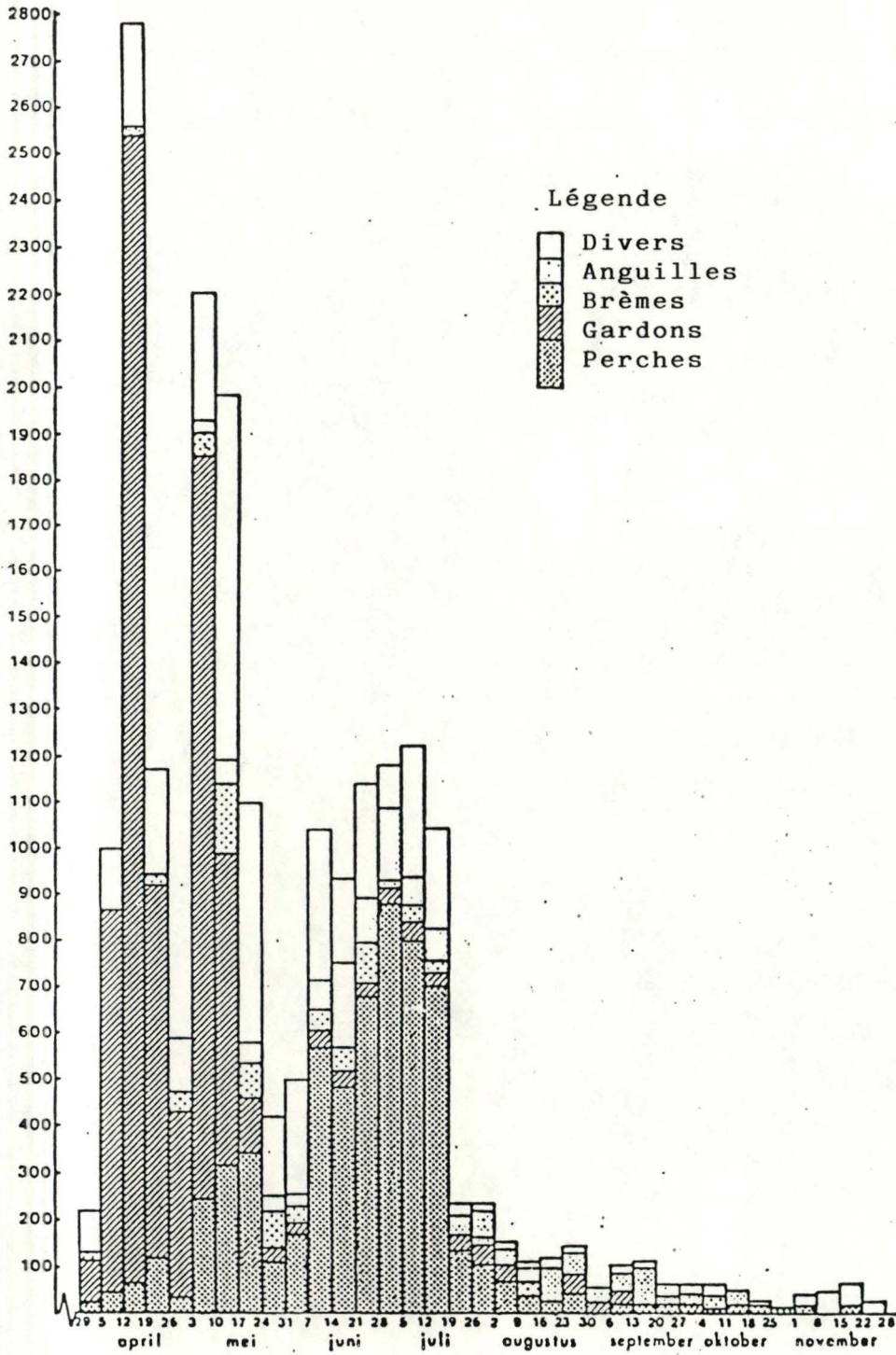


Fig. 76 : Répartition des captures à l'écluse à poissons de Lith le long de l'année 1976 (d'après de GROOT et MUYRES, 1980).

3.2.5. Données concernant la remontée des poissons dans les passes de la Meuse

Plusieurs des échelles à poissons que nous venons d'énumérer ont été étudiées en ce qui concerne la remontée des poissons dans ces échelles. Les données chiffrées que nous avons pu recueillir à ce sujet sont reprises dans les tableaux **9** à **20** .

3.2.5.1. Données concernant les passes à poissons de Lith

Il n'y a pas eu de valeurs enregistrées en 1977 à cause de problèmes techniques (écluses en panne, vol des nasses). C'est en 1976 que la remontée a été la plus forte comme le montre le tableau **9**. Le tableau **11** montre que les captures les plus importantes se font pour les espèces suivantes : grémille, anguille, brème commune, perche et gardon. En 1978 et 1979, il y avait relativement beaucoup d'ablettes et en 1979, on ne pêchait pratiquement plus de grémilles et d'autres espèces de poissons n'étaient pratiquement plus trouvées (telles que les sandres, les chevesnes, les barbeaux, les hotus). Les brochets, les sandres, les lamproies marines et les truites de mer sont pris abondamment aux alentours par les pêcheurs. Les anguilles d'une taille inférieure à 26 cm échappent au comptage car elles passent à travers les mailles de la nasse.

Le tableau **10** montre que la plus grande remontée des anguilles a eu lieu en 1979. En 1976, la remontée a été au contraire la plus faible.

On voit donc que le nombre de poissons qui remontent peut varier fortement d'une année à l'autre et indépendamment d'une espèce à l'autre.

Les figures **75** et **76** montrent que les poissons remontent surtout au printemps et au début de l'été. Elles montrent aussi que l'évolution de la remontée et la répartition du nombre de passages au long de l'année peut aussi être variable d'une année à l'autre. On voit aussi que les espèces que l'auteur considère comme typiques de la zone à brème passent en quantité nettement supérieure à celles représentatives de la zone à barbeaux.

Remontée des poissons via l'échelle à poissons de Belfeld

(de GROOT et MUYRES, 1980)

Année	Nombre de poissons ayant remonté	Biomasse des poissons ayant remonté	Nombre de jours de l'année où il y a eu une remontée
1977	11 337	363	98
1978	4 609	156	62
1979	3 868	264	73

Tableau 13

Remontée des poissons par l'échelle à poissons de Belfeld détaillée suivant les espèces (de GROOT et MUYRES, 1980)

Année Espèces	1977		1978		1979	
	Nombre de poissons	%	Nombre de poissons	%	Nombre de poissons	%
Brème	19	-	2	-	81	2
Brème bordelière	25	-	0	0	6	-
Tanche	3	-	1	-	7	-
Carpe	6	-	0	-	0	-
Gibèle	41	-	1	-	0	0
Grémille	2	-	0	0	0	0
Gardon	2 032	18	309	7	1 557	40
Rotengle	2	-	1	-	0	0
Ablette	4 848	44	3 543	76	1 345	35
Perche	945	8	395	9	195	5
Sous-total pour la zone à brème	7 923	70	4 252	92	3 191	82
Barbeau	5	-	0	0	0	0
Hotu	2	-	0	0	3	-
Chevesne	3	-	1	-	0	0
Goujon	4	-	2	-	9	-
Vandoise	13	-	0	0	5	-
Truite de rivière	1	-	0	0	0	0
Sous-total pour la zone à barbeau	28	-	3	-	17	-
Anguille	3 384	30	353	8	657	17
Lamproie de mer	1	-	0	0	0	0
Truite de mer	1	-	1	-	2	-
Eperlan	0	0	0	0	1	-
Sous-total pour les poissons amphibiotiques	3 386	30	354	8	660	17
Total	11 337	100	4 609	100	3 868	99

Tableau 14 (d'après de GROOT et MUYRES, 1980).

Remontée des poissons via l'échelle à poissons de Linne

Année	Nombre de poissons ayant remontés	Biomasse de poissons ayant remonté	Nombre de jours de l'année où il y a eu une remontée
1977	10 009	426	64
1978	10 691	396	52
1979	6 862	623	63

Tableau 15 (d'après de GROOT et MUYRES, 1980).

Remontée des poissons via l'échelle à poissons de Linne, détaillée par espèces

Année Espèces	1977		1978		1979	
	Nombre de poissons	%	Nombre de poissons	%	Nombre de poissons	%
Brème	56	1	141	1	407	6
Brème bordelière	11	-	0	0	2	-
Tanche	6	-	3	-	25	-
Gibèle	26	-	173	2	0	0
Hybride	5	-	0	0	5	-
Gardon	2 887	29	1 441	14	3 300	48
Rotengle	3	-	0	0	0	0
Ablette	5 858	59	7 802	73	2 432	35
Perche	500	5	271	3	357	5
Perche-soleil	1	-	0	0	0	0
Sous-total pour la zone à brème	9 353	94	9 831	93	6 538	94
Barbeau	8	-	3	-	1	-
Hotu	8	-	5	-	1	-
Chevesne	3	-	10	-	28	-
Goujon	2	-	0	0	11	-
Ide mélanote	0	0	1	-	1	-
Vandoise	1	-	3	-	2	-
Truite de rivière	5	-	2	-	3	-
Sous-total pour la zone à barbeaux	27	-	24	-	46	-
Anguille	629	6	835	8	255	4
Lamproie de mer	0	0	0	0	11	-
Truite de mer	0	0	1	-	12	-
Sous-total pour les poissons amphibiotes	629	6	836	8	278	4
Total	10 009	100	10 691	101	6 862	98

Tableau 16 (d'après de GROOT et MUYRES , 1980).

Résultats des captures à Lith, Belfeld et Linne

Année	Nombre total de poissons qui sont passés			Nombre de poissons passant en moyenne par jour		
	Lith	Belfeld	Linne	Lith	Belfeld	Linne
1975	8 351	-	-	38	-	-
1976	20 259	-	-	83	-	-
1977	-	11 337	10 009	-	116	156
1978	6 300	4 609	10 691	33	74	206
1979	4 464	3 862	6 862	27	53	109

Tableau 17 : Contrôle des poissons dans la passe à bassins successifs du barrage de Lixhe en 1982 (8 jours de contrôle, du 6 mai au 30 juillet) (HOUBART et PHILIPPART, 1982; in PHILIPPART, 1987).

147

Espèce	4 niveaux supérieurs	niveau inférieur
Anguille	566 individus	1.469
Ablette commune	342	42
Gardon	158	74
Goujon	43	40
Barbeau	6	-
Perche	3	46
Tanche	2	-
Vandoise	2	5
Brème commune	2	-
Chevaine	1	2
Hotu	-	2
Truite fario	-	6

Tableau 18 : Résultat des contrôles de la remontée des poissons dans les passes à poissons du barrage de Monsin en 1933-1934 et du barrage de Roermond (Hollande) en 1930.
(Source : DENIL, 1935. in PHILIPPART, 1987).

ESPECES	MONSIN (1)			ROERMOND (2)
	Rive droite	Pile droite	Pile gauche	
Truite arc-en-ciel	64	-	-	-
Truite	-	-	-	1
Barbeau	718	7	4	2 976
Hotu	858	-	1	563
Chevaine	96	-	-	-
Ide mélanote	-	-	-	320
Brèmes	-	-	-	107
Goujon	60	11	65	-
Ablette	66	-	6	-
Perche	1	-	-	-
Gardon	1	-	-	-
Anguille	55	1	-	23
Ind.	-	-	-	37

(1) 47 jours de contrôle du 30 juin 1933 au 27 juin 1934.

(2) 77 jours de contrôle du 08 avril au 23 juin 1930.

3.2.5.2. Données concernant la passe à poissons de Belfeld

Le tableau **12** montre qu'on a capturé le plus de poissons en 1977. Les deux années suivantes, le nombre de captures n'a fait que décroître.

Le tableau **13** montre que cette décroissance concerne surtout les ablettes, les perches, les brèmes bordelières et les anguilles. Pour les brèmes communes, les tanches, les gardons, les goujons, il y a un certain relèvement du nombre de poissons ayant remontés en 1979 par rapport au chiffre obtenu en 1978. Les carpes, les gibèles, les grémilles, les rotengles, les barbeaux, les chevesnes ne sont déjà pas nombreux en 1977 mais ne sont plus retrouvés du tout en 1979. Les truites de mer, les truites de rivière, les lamproies de mer et les éperlans sont quasiment absents pour les trois années.

Comme dans le cas des passes de Lith, les poissons typiques de la zone à barbeaux sont très peu représentés.

3.2.5.3. Données concernant la passe à poissons de Linne

Le tableau **14** montre que en 1979, on a capturé moins d'exemplaires que dans les années 77-78. Le tableau **15** montre que les gibèles ne sont plus retrouvées en 1979 alors qu'elles étaient relativement abondantes en 1978. Le barbeau est la seule espèce qui semble décroître régulièrement. Au contraire la brème commune, la tanche, le gardon, le chevesne, la lamproie de mer et la truite de mer semblent voir leurs effectifs augmenter dans les passes.

Le tableau **16** montre que l'échelle de Linne a un taux de passage journalier des poissons plus élevé que celui des échelles de Lith et Belfeld.

3.2.5.4. Données concernant la passe de Lixhe

Le tableau **17** montre que les anguilles, les ablettes, les gardons et les goujons représentent le nombre de poissons le plus important pour une certaine période de 1982.

Les poissons qui se retrouvent en grand nombre dans les niveaux supérieurs par rapport au niveau inférieur sont les ablettes

ROLE DES PASSES A POISSONS — NEUVILLE-SOUS-HUY (MEUSE)

CAPTURES TOTALES

Pêche	1963		1964	1965		1966	
	Rive droite	Rive gauche	Rive droite	Rive droite	Rive gauche	Rive droite	Rive gauche
ARDON	3.493 (110 kg)	9.088 (323 kg)	6.925 (275 kg)	1.522 (50 kg)	2.513 (80 kg)	1.310 (93 kg)	2.191 (109 kg)
VAINE	1.114 (231 kg)	2.113 (379 kg)	531 (105 kg)	18 (3 kg)	6	—	—
UJON	1.116 (34 kg)	2.257 (60 kg)	3.893 (101 kg)	2.042 (42 kg)	3.195 (73 kg)	218 (5 kg)	498 (14 kg)
ETTE	943 (20 kg)	1.703 (35 kg)	5.883 (127 kg)	630 (14 kg)	851 (19 kg)	218	684 (16 kg)
OTU	72 (9 kg)	160 (21 kg)	28 (4 kg)	3	2	3	—
EME	108 (34 kg)	82 (21 kg)	91 (22 kg)	51 (11 kg)	12	7	4
ARPE	1	1	—	—	—	—	—
BEAU	9 (10 kg)	10 (14 kg)	9 (12 kg)	1	1	—	—
DOISE	—	2	—	—	—	—	—
NCHE	—	—	1	—	—	—	—
UILLE	7	73	85	—	1	2	8
UITE	1	3	2	2	—	1	2
CHE	—	1	13	—	1	1	2
MILLE	—	—	—	—	—	—	18
TAL	6.864	15.493	17.461	4.269	6.582	1.760	2.357
	22.357			10.851		4.117	

Tableau 19 : Contrôle des passes à poissons d'Ampsin-Neuville de 1963 à 1966 (d'après TIMMERMANS, 1967).

communes, les gardons, les goujons. Les barbeaux ne sont retrouvés que dans les paliers supérieurs. On peut suspecter que toutes ces espèces remontent efficacement. Les anguilles et surtout les perches auraient tendance à stagner dans la partie aval de l'échelle.

3.2.5.5. Données concernant la passe de Monsin

Le tableau **18** montre le résultat des contrôles de la remontée des poissons dans les passes à poissons du barrage de Monsin en 1933-1934. On peut voir que les barbeaux et les hotus remontaient en plus grand nombre. Cette différence avec les résultats obtenus pour les passes néerlandaises est plutôt à mettre en relation avec l'époque de l'étude (années 1930 d'une part et années 1970 d'autre part) plutôt que dans une différence de type d'échelle (des échelles DENIL dans les deux cas) ou à cause de la place occupée par les échelles sur le cours de la Meuse. En effet, le tableau **18** montre que la passe DENIL de Roermond aux Pays-Bas faisait passer également beaucoup de barbeaux et de hotus. Or Roermond se situe entre Belfeld et Linne et comme nous avons vu que ces deux dernières passes contenaient peu de barbeaux et de hotus à la fin des années 1970, nous pouvons supputer que cela est également le cas à Roermond actuellement.

Le tableau **18** montre aussi que la passe installée en rive droite est plus efficace que les passes installées en pile. **La passe installée dans la pile gauche se montre aussi attractive pour les goujons** que celle installée en rive droite.

3.2.5.6. Données concernant la passe d'Ampsin-Neuville

Le tableau **19** donne le résultat des contrôles des passes d'Ampsin-Neuville effectués par TIMMERMANS (1967) de 1963 à 1966. Cette étude avait pour but de déterminer si les remontées par les échelles étaient perturbées après la construction de la centrale et sa mise en activité (1965 et 1966). Notons qu'en 1964, la passe de la rive gauche n'a pas été contrôlée car elle était temporairement hors d'usage à cause des travaux à la centrale électrique.

Tableau 20 Répartition par espèces du nombre de poissons capturés dans les trois bassins de repos de l'échelle DENIL d'Ampsin- Neuville du 15/04 au 13/06 1988. * + nombreuses ablettes communes non comptées (d'après PHILIPPART, com. pers.).

Espèces	inférieur	moyen	supérieur	Total
Barbeau	2	1	4	7
Hotu	1	1	0	2
Chevaine	137	77	219	433
Ide mélanote	0	1	2	3
Gardon	75	2	1	78
Rotengle	8	2	4	14
Ablette commune	27*	9	7	43*
Brème commune	454	263	293	1010
Brème bordelière	53	3	0	56
Tanche	2	3	4	9
Anguille	67	63	18	148
Total	826*	425	552	1803*

L'étude a permis de faire les constatations suivantes :

- 1e) les espèces qui remontent le plus sont le gardon, le chevesne, le goujon et l'ablette. Le hotu et la brème sont moins bien représentés. Les barbeaux sont peu nombreux mais gros.
- 2e) c'est durant les mois de mai et juin que les poissons remontent.
- 3e) la mise en activité de la centrale électrique a incontestablement diminué le nombre de poissons remontant les passes. Cette diminution doit se situer entre 2/3 et 3/4.
- 4e) il semble y avoir une diminution progressive des chevesnes sans que l'on en connaisse la raison.

A l'époque (1967), Monsieur TIMMERMANS concluait qu'un certain débit admis dans les passes en mai et juin (ou pendant quelques jours de ces mois) suffirait à assurer une remontée suffisante des poissons. Un dispositif empêchant les poissons d'être attirés par la sortie des turbines et les dirigeant vers le pied de l'échelle (telle une barrière électrique) semblait trop coûteux, son efficacité aurait certainement été insatisfaisante si l'on considère l'importance du débit sortant des turbines et la largeur de la Meuse. De plus, son utilité aurait pu être mise en doute si l'on considère que les poissons qui quittent un bief de la Meuse pour aller dans le bief supérieur y retrouvent des conditions de vie et de frai identiques.

Le tableau **20** nous donne une idée des espèces capables de franchir une échelle DENIL. Les barbeaux, les idées mélanotes et les chevesnes remontent la passe sans aucune difficulté. Curieusement, il semble en être de même pour les tanches. Les anguilles et les brèmes communes rencontrent apparemment de plus grandes difficultés pour remonter. Un problème manifeste semble se poser pour les brèmes bordelières et les gardons. Remarquons qu'on ne trouve pas de perches, que les hotus et les barbeaux sont en nombre négligeable et que les brèmes communes (et peut-être les ablettes) forment la plus grosse partie du contingent des poissons capturés.

3.2.5.7. Conclusions générales sur ces données

D'une manière générale, on peut dire qu'aux Pays-Bas, le passage actuel des poissons dans les dispositifs de franchissement des barrages de la Meuse, par rapport à la quantité de poissons qu'elle abrite, peut être caractérisé comme faible; sur base des observations réalisées, il y a des doutes sur l'efficacité des passes à poissons actuelles sauf en ce qui concerne les goulottes à anguilles qui sont très fonctionnelles. Des recherches sont actuellement menées pour trouver les conditions auxquelles les dispositifs doivent répondre pour atteindre un effet optimal. Les recherches déjà effectuées ont montré que les passes à poissons de la Meuse néerlandaise permettent le passage de 15 à 20 espèces de poissons (surtout le gardon, la brème commune, la perche, la grémille et l'ablette). Les espèces pour lesquelles les échelles ont été construites à l'origine (saumon, truite de mer, alose finte) n'ont été que sporadiquement capturées dans ces passes (de GROOT et MUYRES, 1980).

Nous voyons que de Lith. à Linne, la proportion occupée par les poissons de la zone à brème est à peu près comparable pour les trois échelles.

Remarquons que 12 truites de mer sont parvenues jusqu'au barrage de Linne en 1979 mais que les autres années, le nombre de ces animaux n'était important que pour le barrage de Lith, traduisant ainsi vraisemblablement la faiblesse de l'incursion de ces poissons vers l'amont du cours d'eau.

En 1976, on remarque que la remontée des poissons à l'écluse de Lith est beaucoup plus forte que d'habitude, ceci est surtout le cas pour les grémilles, les gardons, les ablettes, les perches et les chabots. Au contraire, les lamproies marines ne remontent plus cette année-là. Ces variations spectaculaires sont sans doute à mettre en corrélation avec la sécheresse qui a sévit en 1976 dans nos contrées, provoquant une chute du débit d'étiage et une augmentation notable de la température de l'eau. Les figures **75** et **76** montrent que les variations dont nous venons de parler se répercutent sur les proportions respectives occupées par les différentes espèces dans le nombre total de poissons.

Il semble que l'on ait assisté lors de ces quarante dernières années à une notable diminution de la fréquentation des échelles par les barbeaux et les hotus. Les chevesnes par contre sont toujours très présents dans les échelles.

L'installation d'une centrale perturbe considérablement l'efficacité d'une échelle à poissons.

Les échelles DENIL semblent inefficaces pour assurer la remontée des gardons et des brèmes bordelières , du moins à Ampsin.

3.3. L'impact des obstacles aux migrations des poissons

Le profane pensera certainement que, parmi les principaux facteurs de risques pesant sur les espèces de poissons mosans (ayant déjà rayé nombre d'entre elles de la carte belge) et que nous nous sommes efforcés d'énumérer, c'est la pollution chimique qui a le plus d'importance. Il sera plus sensible à ce dernier point car celui-ci est fortement médiatisé et est très spectaculaire. Il se sent en outre directement menacé par cet aspect en tant que consommateur des poissons d'eau douce, il risque en effet d'absorber des toxiques qui ont la propriété de se concentrer le long de la chaîne alimentaire et d'être ainsi présents à de fortes doses dans la chair du poisson. Bien qu'il faille reconnaître que, en effet, l'ichtyofaune mosane paya un lourd tribut à la pollution chimique, les dégâts occasionnés par les obstacles physiques à la migration des poissons furent aussi très importants. (JEUNIAUX et alii, 1983 ; MICHA 1987a , 1987b ; PHILIPPART et VRANKEN, 1983).

Ainsi, l'ide mélanote, le flet, l'esturgeon, la grande alose, l'aloise feinte, la lamproie marine, la lamproie fluviatile, le saumon atlantique, la truite de mer et le corégone oxyrhinque ont disparu du bassin mosan ou sont considérés comme tels à cause notamment des obstacles aux migrations. De même, la vandoise, la truite de rivière, l'ombre commun et le barbeau fluviatile sont actuellement menacés à des degrés plus ou moins avancés par ces mêmes obstacles.

D'autres espèces ont disparu du bassin mosan pour d'autres raisons, c'est le cas de la lotte de rivière et de la loche de rivière. Enfin, signalons que la bouvière, le vairon et la lamproie de Planer sont en voie de disparition dans le bassin.

L'esturgeon fut la première espèce dont on a noté la disparition en Meuse et la lamproie fluviatile est la dernière en date. Cette dernière a particulièrement souffert des prélèvements à caractère scientifique.

La lamproie marine, la lamproie fluviatile, la vandoise, le chabot, le vairon et l'ablette sont des espèces particulièrement oxygénophiles, la pollution qui s'accompagne très fréquemment d'

une chute de la concentration en oxygène dissous, les a particulièrement affectés par ce biais.

Remarquons que la lotte subsiste peut-être en Haute-Meuse et que l'ide mélanote se maintient vraisemblablement en Basse-Meuse et en Meuse moyenne.

Enfin, faisons remarquer que parmi les 11 espèces éteintes à cause des obstacles à la migration, la plupart sont des espèces à haut intérêt (commercial, sportif ou scientifique) pour l'homme. (PHILIPPART et VRANKEN, 1983).

Nous voyons donc que le problème posé par les obstacles aux déplacements des poissons est, en Meuse, d'une importance non négligeable et même prépondérante pour certaines espèces très intéressantes. En effet, si dans un cours d'eau naturel, le poisson ne rencontre des obstacles insurmontables que dans certaines montagnes et que même les anciens barrages en pierre n'arrêtent pas son avance dans un fleuve comme la Meuse, la construction récente par l'homme de barrages en béton a produit des jets d'eau ou des dénivellations infranchissables pour le poisson.

4. M A T E R I E L E T M E T H O D E S

4.1. Matériel

Les mesures de la température de l'eau ont été effectuées avec le thermomètre intégré dans l'oxymètre numérique de terrain YSI 58, cet appareil possède un affichage à cristaux liquides, un boîtier insubmersible, un système de correction de salinité et une compensation automatique de la température et du coefficient de membrane. Il mesure la température dans une gamme allant de - 5 à 45°C et la concentration en oxygène dissous de 0 à 20,00 mg/l. Deux résolutions sont possibles pour la lecture de la concentration en oxygène : 0,1 et 0,01 mg/l. La saturation en O₂ peut être calculée automatiquement par l'appareil en fonction de sa concentration et de la température, la gamme mesurée peut s'étendre de 0 à 200 %.

L'exactitude de la mesure de la température a été vérifiée par comparaison avec un autre thermomètre à affichage à cristaux liquides pour une gamme de température allant de 0 à 20°C. L'écart maximum entre les deux mesures est de 0,1°C.

La concentration en O₂ dissous dans l'eau sera estimée par les mesures effectuées à la station de la CIBE à Tailfer. En effet, l'oxymètre dont nous disposons manquait de fidélité et tendait à surestimer les valeurs réelles.

De même, les relevés journaliers de la concentration en O₂ et de la température de l'eau (à partir desquels des graphiques concernant la période étudiée ont été établis) ont été aimablement communiqués par Monsieur FRANSOLET de la CIBE.

Le matériel de pêche électrique est constitué d'un générateur de courant continu type ELECTRO-PULMAN EPMC n° 33 902 d'une puissance de 1 800 W.

Le principe de la pêche électrique consiste à créer un champ électrique continu à proximité du poisson. Ce champ électrique a la propriété de pénétrer à travers la peau du poisson et d'exciter les cellules nerveuses sensibles ou motrices. Le champ électrique est limité par l'anode d'une part et la cathode d'autre

part, les deux électrodes étant reliées à un générateur portatif. Avec un courant continu d'un ampère sous 220 volts dans des eaux d'une résistivité moyenne (3 500 - 4 000 ohms), le champ électrique possède une sphère d'influence efficace de deux mètres environ autour des électrodes. L'anode (électrode positive) est un anneau de cuivre muni d'un manche que l'on manipule de manière à prospecter les eaux où l'on envisage de capturer du poisson. La cathode (électrode négative) a une forme d'échelle de corde ou de bouée quadrangulaire que l'on plonge dans l'eau.

Au fur et à mesure qu'on approche l'anode du poisson, on peut observer trois types de comportements :

- la nage inhibée se manifeste lorsque la distance qui sépare l'anode du poisson est inférieure à 2 m. Dans ce cas, la chaîne sensitive n'est pas encore excitée mais la chaîne motrice est inhibée et provoque une nage ralentie.

- la nage forcée s'observe lorsque le poisson est à environ 1 m de l'anode. A ce moment, il y a excitation de la chaîne sensitive et de la chaîne motrice qui provoque une nage rapide vers l'anode.

- la galvanonarcose ou anesthésie électrique a lieu lorsque le poisson n'est plus qu'à une dizaine de centimètres de l'anode. Les voies motrices ne sont plus activées et le poisson reste sans mouvements. Cette paralysie cesse lorsqu'on interrompt le courant. D'autres réactions peuvent se manifester.

Les poissons de grande taille sont plus facilement capturés car il réagissent à des seuils d'excitation plus faibles.

L'efficacité de la pêche électrique est meilleure pour les bons nageurs (Salmonidés) que pour les moins bons nageurs (Cyprinidés) qui sont plus vite épuisés. (MICHA et RUWET, 1970).

La nasse, tendue par un cadre de bois de 60 cm de côté et fermée en son extrémité par un cordon synthétique, est soutenue par quatre anneaux métalliques de diamètre décroissant (395 mm, 350 mm et 2 x 270 mm). Les mailles ont un diamètre de 15 mm. La longueur de la nasse tendue fait environ 2,20 m.

4.2. Méthode

4.2.1. Etude de ce qui se trouve dans les passes

La méthode utilisée ne permet d'avoir une idée de ce qu'il y a dans la passe à poissons qu'à un moment précis.

La première étape de la marche à suivre est de bloquer l'entrée d'eau dans la passe grâce à de larges planches coulissant dans les rainures disposées à cet effet en amont de la passe. Pour renforcer l'étanchéité des planches, on accole des films plastifiés en s'attachant à obturer le plus possible les bords latéraux et le dessous des planches, c'est en effet à ces endroits que les fuites d'eau ont le plus tendance à faire apparition. Eventuellement, on retire l'eau qui persiste à passer dans le premier palier amont grâce à une petite pompe portative. L'arrêt de l'admission d'eau fait que chaque palier n'est plus rempli d'eau que jusqu'au niveau de la crête de la planche qui tient lieu d'échancrure. Le déversement est négligeable et les poissons sont piégés dans le bassin où ils se trouvent à la condition qu'ils ne sautent pas (ce qu'ils font fréquemment si on les dérange par des passages trop fréquents en bordure de l'échelle).

La seconde étape consiste à effectuer une pêche électrique en aval de l'échelle. Ceci concerne le petit couloir d'accès précédant le premier palier aval ainsi que tous les paliers dont le fond est à un niveau inférieur à celui de l'eau dans le bief aval. Ces paliers ne peuvent en effet être vidangés par le simple effet de la gravité sur l'eau. Le nombre de ces paliers varie évidemment suivant la cote atteinte en aval du barrage. Les poissons attirés par l'anode sont assez aisément capturés par une épuisette et le contenu est déversé dans une bassine d'eau (l'eau y est régulièrement changée pour assurer une réoxygénation indispensable à la survie des poissons stockés). Les poissons sont ensuite dénombrés, déterminés, mesurés et si possible sexés. La mesure de la longueur totale se fait par une planche à mesurer millimétrée. Le sexe se fait grâce à une légère pression des doigts qui parcourt la région anale de l'avant vers l'arrière. L'émission de laitance par l'orifice génital indique que le poisson est un mâle, l'émission d'

oeufs indique que celui-ci est une femelle à un état de maturité très avancé (stade 4). Le poisson ne peut pas être sexé de façon certaine lorsque aucun produit sexuel n'est lâché. Après récoltes des données, les poissons sont libérés (en aval ou en amont) à un endroit tel que l'on ne risque pas de les reprendre une seconde fois. Dans le cas de spécimens particulièrement grands, ceux-ci sont marqués par une bague numérotée à la nageoire dorsale avant d'être remis en liberté ; ce marquage pourra servir à d'autres études concernant l'estimation de la croissance individuelle et de la biomasse de la population.

La troisième étape consiste à répéter le même processus pour les poissons piégés dans les bassins successifs de la passe susceptibles d'être vidangés par le simple écoulement de l'eau vers l'aval. La capture des poissons ne se fait pas ici grâce à une pêche électrique mais par une méthode purement mécanique. Une épuisette est placée juste en aval de la planchette disposée dans la rainure et retenant encore dans le bassin un certain tirant d'eau. La disposition de l'épuisette doit être telle que toute l'eau libérée du bassin par le déplacement de la planchette passe à travers les mailles. De cette manière, les poissons emportés avec l'eau qui sort sont retenus dans l'épuisette. Certains poissons restent dans le bassin vide ; ils sont alors parfois capturés à la main.

La vidange de l'échelle se fait depuis les paliers inférieurs jusqu'aux paliers supérieurs. Les données collectées sont séparées suivant les bassins étudiés.

La dernière étape consiste à remettre les planches servant à former les échancrures des bassins puis à réouvrir l'amont de la passe afin de laisser à nouveau l'eau y circuler librement. La température de l'eau est prise en amont de la passe.

Il faut être conscient que la méthode utilisée ne permet d'avoir qu'une idée de ce qu'il y a dans la passe à poissons à un moment précis. Les informations ne seront que partielles et leur interprétation demandera la plus grande prudence.

Les relevés sont fait pendant la période supposée de remontée des poissons à des intervalles assez réguliers d'environ une semaine. Les relevés de chacune des passes étudiées sont faits ensemble en une seule journée, ils débutent le matin et se terminent plus ou moins tard (de la fin de la matinée à jusqu'au milieu de l'après-midi) suivant l'abondance des poissons se trouvant dans les échelles. Des relevés ont été faits la nuit. Parfois deux relevés ont été faits pour une même passe à des moments différents de la journée.

Les données individuelles sont récoltées sur le plus grand nombre possible des poissons capturés. Lorsqu'ils ne sont pas trop nombreux, ils sont tous examinés. En 1987, on n'a relevé que le nombre des poissons par espèce et parfois les tailles minimales et maximales pour chaque espèce dans chaque bassin.

4.2.2. Etude de la répartition des espèces dans les différentes parties de la passe

Les paliers sont numérotés de l'aval vers l'amont du n° 1 au n° 15 pour La Plante et Tailfer, du n° 1 au n° 14 pour Rivière.

On considère comme partie inférieure le couloir d'accès et les cinq paliers inférieurs (paliers 1 à 5). Ce couloir d'accès est relativement grand et la partie inférieure comprendra donc normalement plus de poissons que dans les autres parties même si les poissons ne stagnent pas en aval et remontent activement. Cependant, c'est aussi dans la partie inférieure qu'un dénombrement complet est souvent peu réalisable à cause de la trop grande quantité de poissons, de la moindre efficacité de capture par la pêche électrique par rapport à la méthode de la vidange et des études non effectuées dans cette partie lors de déficiences du matériel de pêche électrique.

La partie moyenne comprend les cinq paliers (n° 6 à 10) en amont de la partie inférieure.

La partie supérieure comprend les cinq paliers les plus en amont pour La Plante et Tailfer (n° 11 à 15), les quatre paliers les plus en amont pour Rivière (n° 11 à 14).

Pour l'échelle de Tailfer, à partir du 18 mai, il existe une dénivellation de 30 cm tous les deux bassins à la place d'une dénivellation de 15 cm à chaque bassin. Ceci se fait en retirant les planches servant à situer le niveau de l'échancrure entre deux bassins.

4.2.3. Etude du passage des poissons pendant le jour

L'étude de l'évolution de la remontée au cours d'une journée a été faite grâce à la pose d'une nasse en amont de l'échelle de Tailfer et à des relevés de cette nasse chaque heure entre 9 h et 17 h.

4.2.4. La rapidité de la remontée pendant la nuit

Pour estimer à quelle vitesse les poissons remontaient au crépuscule et durant la nuit, les poissons capturés dans une échelle sont relâchés dans un bassin en aval (le palier 8 pour La Plante, le palier 4 pour Tailfer). Un cadre grillagé disposé dans les rainures pour planchettes permet alors d'empêcher l'accès au palier de départ par des poissons provenant de l'aval ou la dévalaison à partir de ce palier par les poissons qui y ont été relâchés. Un contrôle est effectué après un laps de temps de 1 h 15 pour le crépuscule et de 4 h 35 pour la nuit.

4.2.5. La rapidité de la remontée pendant la journée

Le 25 avril 1988, une pêche a été faite à Tailfer le matin (9 h 30) et une seconde l'après-midi (14 h) pour essayer de se rendre compte de la rapidité potentielle de la remontée pendant la journée.

Tableau 21

Espèces de poissons qui furent capturés lors des pêches électriques et des vidanges aux passes à poissons de la Plante, Tailfer et Rivière de mai à août 1987 et de mars à juin 1988.

	LA PLANTE		TAILFER	RIVIERE
	1987	1988	1988	1988
Famille des CYPRINIDES				
1. <u>Abramis brama</u> <i>brème ou brème commune.</i> (L. 1758)	+	+	+	+
2. <u>Alburnoides bipunctatus</u> (BLOCH 1782) <i>spirlin.</i>	-	-	-	-
3. <u>Alburnus alburnus</u> <i>ablette.</i> (L. 1758)	+	+	+	+
4. <u>Barbus barbus</u> <i>barbeau.</i> (L. 1758)	+	+	-	-
5. <u>Blicca bjoerkna</u> <i>brème exotique.</i> (L. 1758)	+	+	+	+
6. <u>Chondrostoma nasus</u> <i>rotte.</i> (L. 1758)	+	+	+	+
7. <u>Gobio gobio</u> <i>goujon.</i> (L. 1758)	-	+	-	+
8. <u>Leuciscus cephalus</u> <i>devesse.</i> (L. 1758)	+	+	+	+
9. <u>Leuciscus idus</u> <i>ide melanote.</i> (L. 1758)	-	-	+	-
10. <u>Leuciscus leuciscus</u> <i>vandois.</i> (L. 1758)	-	+	+	+
11. <u>Rutilus rutilus</u> <i>garda.</i> (L. 1758)	+	+	+	+
12. <u>Scardinius érythrophthalmus</u> (L. 1758)	+	+	-	-
13. <u>Tinca tinca</u> <i>rotange.</i> (L. 1758) <i>tardé.</i>	-	-	-	+
Famille des PERCIDES				
14. <u>Gymnocéphalus cernua</u> <i>gémille.</i> (L. 1758)	+	+	-	+
15. <u>Perca fluviatilis</u> L. 1758 <i>perche.</i>	+	+	+	+
Famille des SALMONIDES.				
16. <u>Salmo gairdneri</u> <i>truite arc-en-ciel.</i> RICHARDSON 1836	-	-	+	-
17. <u>Salmo trutta fario</u> L. 1758 <i>truite de rivière.</i>	+	+	+	+
Famille des ANGUILLIDES				
18. <u>Anguilla anguilla</u> <i>anguille.</i> (L. 1758)	+	+	+	+
Famille des GASTEROSTEIDES				
19. <u>Gastéroteus aculeatus</u> L. 1758 <i>épinoche.</i>	-	-	-	+

5. R E S U L T A T S

5.1. Les espèces de poissons capturées

Le tableau **21** nous montre qu'au cours des deux années d'études, 13 espèces de Cyprinidés, 2 espèces de Percidés, 2 espèces de Salmonidés, 1 espèce d'Anguillidés et 1 espèce de Gastérostéidés ont pu être capturées dans les échelles.

Les barbeaux et les rotengles n'ont été pris qu'à La Plante.

Les ides mélanotes et les truites arc-en-ciel ont été prises à Tailfer uniquement.

Le spiralin, les tanches et l'épinoche ont été capturés à Rivière.

L'absence de goujons et de grémilles uniquement à Tailfer est à remarquer. Les goujons sont cependant toujours assez rares et l'on constate d'ailleurs qu'à La Plante en 1987, on n'en a pas pris.

Entre 1987 et 1988, nous voyons que la fréquentation de l'échelle de La Plante pour les différentes espèces est presque la même, seules les vandoises et les goujons font exception en étant présents en 1988 et pas en 1987.

Les brèmes communes, les ablettes, les brèmes bordelières, les hotus, les chevesnes, les gardons, les perches, les truites de rivière, les vandoises et les anguilles se retrouvent dans les 3 échelles.

L'absence des vandoises à La Plante en 1987 est à remarquer.

La Plante présente 10 des 13 espèces de Cyprinidés et 4 des 6 autres espèces.

Tailfer présente 8 des 13 espèces de Cyprinidés et 4 des 6 autres espèces.

Rivière présente 10 des 13 espèces de Cyprinidés et 5 des 6 autres espèces.

On voit que le nombre d'espèces dans les 3 échelles est à peu près le même, légèrement inférieur toutefois pour Tailfer.

Tableau 22

Importance relative des différentes espèces de poissons capturées pendant l'étude..

> : nombre réel supérieur.

>>: nombre réel fortement supérieur.

Espèces	de mai à août 1987 LA PLANTE (10 pêches)		de mars à juin 1988 LA PLANTE (14 pêches)		de mars à juin 1988 TAILFER (18 pêches)		de mars à juin 1988 RIVIERE (11 pêches)	
	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%
Brème bordelière	143	12.2	51	2.7	21	0.45	24	1.6
Brème commune	5	0.4	II	0.6	5	0.11	27	1.8
Gardon	95	8.11	>370	19.7	1341	25.0	>413	27.4
Grémille	27	2.3	93	5.0	0	0	3	0.2
Chevesne	567	48.5	863	46.1	2301	45.7	486	32.2
Perche	11	0.5	118	6.3	34	0.7	39	2.6
Barbeau	3	0.2	2	0.1	0	0	0	0
Hotu	3	0.2	I	0.05	4	0.1	2	0.1
Rotengle	I	0.1	I	0.05	0	0	0	0
Ablette	>>300	25.6	309	17.0	>898	19.4	>472	31.3
Anguille	10	0.8	> 28	1.5	> 5	0.1	> 22	1.5
Truite fario	5	0.4	8	0.4	7	0.15	4	0.03
Goujon	0	0	I	0.05	0	0	I	0.07
Vandoise	0	0	8	0.4	12	0.26	10	0.7
Truite arc-en-ciel	0	0	0	0	2	<0.1	0	0
Ide mélanote	0	0	0	0	I	<0.1	0	0
Spiralin	0	0	0	0	0	0	I	<0.1
Tanche	0	0	0	0	0	0	2	0.1
Epinoche	0	0	0	0	0	0	I	<0.1
TOTAL	1172	100%	1866	100%	4631	100%	1507	100%

Le tableau **22** montre que les chevesnes, les gardons et les ablettes représentent une proportion très grande du nombre de poissons passant dans l'échelle.

Remarquons que de 1987 à 1988, la proportion occupée par les 3 espèces dominantes reste à peu près identique pour la passe de La Plante (82,2 % pour 1987 et 82,8 % en 1988). Cette proportion est encore supérieure pour l'échelle de Rivière et l'échelle de Tailfer, où on peut dire que la presque totalité des poissons se trouvant dans les passes appartient aux 3 espèces nommées ci-dessus (90,9 % pour Rivière, 90,1 % pour Tailfer).

Les brèmes bordelières, les grémilles et les perches sont trois autres espèces dont la proportion n'est pas négligeable.

Les pourcentages occupés par les différentes espèces moins importantes peuvent varier considérablement d'une échelle à l'autre. Il faut n'y voir sans doute qu'un simple effet statistique d'une variabilité accrue lorsqu'on a affaire à des espèces plus occasionnelles.

Le nombre de poissons total est nettement supérieur à Tailfer ainsi que le nombre de poissons par capture qui y est de 257 pour Tailfer, 137 pour Rivière, 133 pour La Plante en 1988 et 117 pour La Plante en 1987. La valeur plus faible trouvée pour La Plante en 1987 est vraisemblablement due à ce que la période d'étude a été plus tardive pour cette année et ne recouvrait pas la pleine période de remontée ; en août, les captures sont en effet très faibles.

Faisons remarquer que lorsqu'on effectue la vidange des 3 échelles le même jour, l'ordre dans lequel les 3 échelles sont vidangées est toujours le même. La Plante est prospectée tôt le matin, ensuite c'est au tour de Tailfer. On termine par Rivière en fin de matinée ou en début d'après-midi. Des différences entre les 3 échelles peuvent donc dans une certaine mesure refléter des différences dans les moments privilégiés de remontée pour chaque espèce. Il faut comparer les 3 échelles pour chacune des espèces et chacune des dates (Tableaux **25** à **27**) car les chiffres globaux pourraient masquer des différences dues simplement à une abondance exceptionnelle d'une espèce de poissons pour une seule date.

Tableau 23

Evolution du nombre de captures pour chaque espèce suivant la période pour La Plante en 1987

++ : abondance non estimée

* : comptage incomplet

°° : prospection des parties inférieures non effectuée

// : prospection des parties inférieures incomplète

Entre () : nombre d'individus se situant dans les paliers inférieurs

DATE	27/05	01/06	09/06	15/06	30/06	10/07	14/07	05/08	18/08
ESPECE	//	//	//	//	//	//	//	°°	°°
Brème commune	3	0	0	1	1	0	0	0	0
Ablette	0	9(2)	207*(201*)	22(20)	++	++	2*(2*)	0	0
Barbeau	3(1)	0	0	0	0	0	0	0	0
Brème bordelière	136(52)	0	0	0	7	0	0	0	0
Hotu	2	0	0	0	1	0	0	0	0
Chevesne	13(5)	174(39)	1	38(1)	97	138(3)	98(5)	3	5
Gardon	67(22)	20(1)	0	0	6	0	0	2	0
Rotengle	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Grémille	9(2)	9	0	5	0	0	4	0	0
Perche	3(1)	0	1	2	2	1(1)	2	0	0
Truite de rivière	0	0	0	0	2	1	1	1	0
Anguille	0	0	1	6	0	0	0	3	0
TOTAL	237	212	210	74	116	140	107	9	5

Tableau 24

Evolution du nombre de captures pour chaque espèce suivant la période cumulée pour les 3 passes en 1988

entre () : nombre d'individus dans les paliers inférieurs

- ++ : non estimée
- * : comptage incomplet
- °° : prospection des parties inférieures non effectuée
- // : prospection des parties inférieures incomplète
- + : présence

ESPECE \ DATE	11/03	11/04	18/04	25/04	02/05	09/05	20/05	27/05	03/06	14/06	20/06	30/06
						//	//				//	°°
Brème commune	0	0	2(1)	0	2(2)	4	0	29(9)	2(2)	0	0	0
Ablette	7(7)	8(8)	362(267)	229(141)	73(60)	82*(43)	14	68(36)	6(3)	16(12)	124*	5
Spirilin	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Barbeau	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Brème bordelière	0	5(3)	22(18)	4(3)	8(5)	6(2)	0	27(24)	2(1)	0	0	0
Hotu	0	0	3	1(1)	0	1	0	0	0	0	0	0
Goujon	0	1(1)	0	0	1(1)	0	0	0	0	0	0	0
Chevesne	0	0	3(1)	8(4)	62(11)	268(38)	403(27)	533(121)	110(24)	719(168)	56(6)	10
Ide mélanote	0	0	0	0	0	0	0	1(1)	0	0	0	0
Vandoise	1(1)	2(1)	16(6)	2	1(1)	1	0	0	0	1(1)	0	4
Gardon	2(2)	144(89)	1446(282)	352(142)	97(65)	28*(1*)	1	0	0	0	0	0
Rotengle	0	1(1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tanche	0	0	0	0	0	0	0	2(2)	0	0	0	0
Grémille	0	38(33)	9(6)	8(8)	10(10)	2	0	7(4)	2(1)	0	0	0
Perche	0	20(11)	18(15)	34(33)	15(13)	5	0	31(29)	8(8)	19(26)	1	0
Truite arc-en-ciel	0	0	0	0	0	0	0	0	1(1)	0	0	0
Truite de rivière	0	1	2	1	2(1)	1(1)	1(1)	1	3(2)	2(1)	0	1
Anguille	0	0	0	0	0	0	1	21*(19)	2*(1*)	1*(1*)	1	3
Epinoche	0	0	0	0	0	0	0	1(1)	0	0	0	0
TOTAL	10	220	1 884	639	271	400	420	721	136	758	182	23

En faisant de telles comparaisons entre les échelles, on remarque que les hotus ne sont pris qu'à Rivière. Le nombre de chevesnes est toujours plus important pour les relevés de Tailfer. Le nombre de perches est toujours le plus élevé à La Plante et il est toujours faible à Tailfer et Rivière. Aucune tendance ne peut être dégagée de ces comparaisons pour les autres espèces.

5.2. Evolution du nombre de captures pour chaque espèce suivant la période

5.2.1. Généralités

Les tableaux **23** et **24** montrent que la période de fréquentation des poissons dans les échelles de la Meuse commence entre mi-mars et mi-avril et peut se prolonger jusqu'au début du mois d'août. Nous nous efforcerons ici de tirer des généralités pour les deux années 1987 et 1988.

Les brèmes communes ne sont jamais prises avant avril et après juin.

Les ablettes fréquentent les échelles de mars à juillet avec des intensités plus fortes entre avril et juin.

Les brèmes bordelières sont dans les échelles presque exclusivement en avril-mai.

Les chevesnes ne commencent pas à passer massivement avant mai, la remontée est intense durant ce mois et pendant le mois de juin puis diminue irrégulièrement.

Les gardons semblent remonter en masse sur une période courte (environ 1 mois : de mi-avril à mi-mai pour 1988).

On peut en dire de même pour les grémilles.

Les perches fréquentent les échelles d'avril à la mi-juin.

Les truites de rivière remontent individuellement sur une durée étalée au moins sur toute la période étudiée.

Les anguilles ne sont pas présentes avant fin mai, du moins pendant la journée.

TABLEAU 25

Evolution du nombre de captures pour chaque espèce suivant la période pour LA PLANTE EN 1988
(I) les 2 relevés sont considérés dans cette seule colonne.

* : comptage incomplet.

0 : partie inférieure non prospectée.

+ : présence.

// : partie inférieure incomplètement prospectée.

= : pêche de nuit.

entre () : nombre d'individus dans la partie inférieure.

DATE ESPECES	II/04	18/04	25/04	02/05	09/05 //	19/05 //	20/05 0 (I)	27/05	03/06	14/06	16/06 // =	20/06 //	22/06 // =	30/06 0
Brème commune	0	0	0	2(2)	4	I(I)	0	2(2)	2(2)	0	0	0	0	0
Ablette	6(6)	29(29)	7(7)	7I(60)	16	44(5)	14	22(6)	2	3(1)	3	I8(1)	73(9)*	I
Barbeau	0	I	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brème bordelière	2(1)	I8(15)	I(I)	7(4)	0	6(6)	0	16(16)	I(I)	0	0	0	0	0
Hotu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0
Goujon	I(I)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chevesne	0	0	2	13(4)	83	217(22)	37	148(21)	25(I)	214(I0)	92(2)	23	8	I
Vandoise	0	5(5)	0	I(I)	I	I	0	0	0	0	0	0	0	0
Gardon	14(6)	239(70)	2(I)	85(6I)	21*(+)	9(4)	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotengle	I(I)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grémille	37(32)	9(6)	8(8)	I0(I0)	2	I8(8)	0	7(4)	2(I)	0	0	0	0	0
Perche	I9(I0)	15(13)	9(9)	9(9)	I	31(25)	0	9(8)	7(7)	17(15)	I(1)	0	0	0
Truite de rivière	I(I)	I	I	I	0	I	0	0	2(I)	I(I)	0	0	0	0
Anguille	0	0	0	0	0	I0*(I0)	0	7*(6)	+(+)	++	4	0	4	2
TOTAL	80I	317	30	I99	129	338	5I	211	4I	235	I0I	4I	85	4

TABLEAU 26

Evolution du nombre de captures pour chaque espèce suivant la période pour TAILFER en 1988.

(I): Les 2 relevés sont considérés dans cette seule colonne.

(2): A partir de ce moment, les poissons doivent franchir une dénivellation de 30 cm tous les 2 bassins, à la place d'une dénivellation de 15 cm à chaque bassin.

0 : partie inférieure non prospectée.

//: partie inférieure incomplètement prospectée.

+ : présence.

* : comptage incomplet.

= : pêche de nuit.

entre () : nombre d'individus dans la partie inférieure.

ESPECES \ DATE	II/03	II/04	18/04	25/04 (I)	02/05	09/05	18/05 (2)	19/05 0	20/05 //	27/05	03/06	14/06	16/06 =	20/06 //	22/06 //=	29/06 0	30/06 0
Brème commune	0	0	2(1)	0	0	0	I	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ablette	7(7)	I(I)	152(74)	77(38)	0	52(43)	30(25)	386	0	25(25)	0	II(10)	2(2)	106* (90*)	8(4)	40	I
Brème bordelière	0	2(2)	4(2)	0	0	0	2	12	0	0	I	0	0	0	0	0	0
Hotu	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0
Chevesne	0	0	2	5(3)	43(7)	128(25)	730 (160)	47	357(27)	234(67)	80(20)	432 (138)	186(28)	27(5)	16(I)	II	3
Ide mélanote	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I(1)	0	0	0	0	0	0	0
Vandoise	I(I)	I(I)	9(I)	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gardon	2(2)	69(67)	III2 (144)	112(25)	0	3(1)	I	4I	I	0	0	0	0	0	0	0	0
Perche	0	I(I)	3(I)	3(3)	0	I	2(2)	2	0	20(19)	0	I(1)	0	I	0	0	0
Truite arc-en-ciel	0	0	0	0	0	0	1(1)	0	0	0	I(I)	0	0	0	0	0	0
Truite de rivière	0	0	0	0	0	I(1)	2(1)	I	I(I)	I	I(I)	0	0	0	0	0	0
Anguille	0	0	0	0	0	0	0	0	I	I	I(I)	0	++(++)	I	I	0	0
TOTAL	I0	74	1287	197	43	185	769	492	360	282	84	444	I88	135	26	5I	4

Evolution du nombre de captures pour chaque espèce suivant la période pour RIVIERE en 1988

entre () : nombre de poissons dans la partie inférieure
 * : comptage incomplet
 °° : prospection de la partie inférieure non effectuée
 // : prospection de la partie inférieure incomplète
 + : présence

Espèces	DATE	11/04	18/04	25/04	02/05	09/05 //	18/05	20/05 °°	27/05	03/06	14/06	20/06 //	30/06 °°
Brème commune		0	0	0	0	0	0	0	27(7)	0	0	0	0
Ablette		1(1)	181(164)	145(96)	2	14*(+)	99(42)	0	21(5)	4(3)	2(1)	0	3
Spirin		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Brème bordelière		0	1(1)	3(2)	1(1)	6(2)	2(2)	0	11(8)	0	0	0	0
Hotu		0	0	1(1)	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Goujon		0	0	0	1(1)	0	0	0	0	0	0	0	0
Chevesne		0	1(1)	1(1)	6	57(3)	171(27)	9	151(33)	5(3)	73(20)	6(1)	6
Vandoise		1	2	2	0	0	0	0	0	0	1(1)	0	4
Gardon		61(16)	95(68)	238(116)	12(4)	4*(+)	3(3)	0	0	0	0	0	0
Tanche		0	0	0	0	0	0	0	2(2)	0	0	0	0
Grémille		1(1)	0	0	0	0	0	0	0	0	2(2)	0	0
Perche		0	1(1)	22(21)	6(4)	3	3(2)	0	2(2)	1(1)	1	0	0
Truite de rivière		0	1	0	1(1)	0	0	0	0	0	1	0	1
Anguille		0	0	0	0	0	7(7)	0	13(13*)	0	1(1)	0	1
Epinoche		0	0	0	0	0	0	0	1(1)	0	0	0	0
TOTAL		64	282	412	29	86	285	9	228	10	81	6	15

Nous manquons de données pour situer la période de fréquentation des spirilins, des barbeaux, des hotus, des rotengles, des tanches et des truites arc-en-ciel.

5.2.2. Répartition dans les échelles suivant la période

Les mêmes tableaux **23** et **24** nous indiquent d'autre part le nombre de poissons qui ont été pris dans la partie inférieure, ceci nous permet de remarquer que :

- le 27 mai 1988, peu de brèmes communes se retrouvaient en aval par rapport à ce qui se trouvait dans l'échelle.
- au moins la moitié des ablettes se situent dans la partie inférieure des échelles quelle que soit la date ; cette proportion est en générale bien supérieure (sauf le 27 mai 1988), du moins tant que les relevés en aval sont complets.
- les brèmes bordelières se localisent surtout en aval quelle que soit la période.
- les chevesnes sont trouvés avec constance surtout dans les paliers en amont de la partie inférieure.
- les gardons sont trouvés en proportion moins importante dans les paliers inférieurs sauf, le 25 avril à Tailfer et le 18 avril dans chacune des passes.
- les perches restent en grande quantité en aval quelle que soit la période.
- les anguilles restent toujours en majorité dans la partie inférieure quelle que soit la période.

Si l'on considère chaque échelle prise individuellement pour 1988 (tableaux **25** à **27**) on constate que ces considérations se vérifient à chaque fois sauf dans les cas où la partie inférieure a été peu ou pas du tout prospectée. Les tableaux **25** à **27** permettent de constater que pour l'année 1988, on a des abondances plus marquées pour les différentes espèces pour différentes dates de capture et pour les différentes échelles. Nous allons reprendre ci-dessous les dates où il y avait à la fois une abondance et une remontée apparente de l'espèce dans l'échelle. Pour ce dernier point, nous retiendrons donc les jours où le nombre de poissons est relativement faible dans la partie inférieure par rapport au total. Nous ne conserverons

ainsi que des journées pour lesquelles la motivation pour la remontée semblait bien réelle.

Les résultats sont les suivants :

- pour les brèmes communes : à Rivière : 27 mai.
- pour les ablettes : à La Plante : 19 mai, 27 mai.
à Rivière : 27 mai.
- pour les chevesnes : à La Plante : 9 mai, 19 mai, 27 mai, 14 juin, 16 juin.
à Tailfer : 9 mai, 18 mai, 20 mai, 27 mai, 14 juin, 16 juin.
à Rivière : 9 mai, 18 mai, 27 mai, 14 juin.
- remontée simultanée pour 2 échelles : 18 mai, 16 juin.
remontée simultanée pour 3 échelles : 9 mai, 27 mai, 14 juin.
- pour les gardons : à La Plante : 18 avril
à Tailfer : 18 avril, 25 avril,
à Rivière : 11 avril, 25 avril.
abondance simultanée pour 2 échelles : 18 avril, 25 avril.

Remarquons que les gardons étaient abondants le 18 avril à Rivière bien que surtout localisés dans les paliers inférieurs.

Les chevesnes étaient abondants à la fois pour les 3 échelles pour plusieurs dates successives, seul le 14 juin est détaché des autres par le 3 juin. Si on a trouvé une abondance simultanée seulement pour 2 échelles les 18 mai et 16 juin, il faut aussi soulever qu'un relevé n'a pas été fait à ces dates pour l'échelle qui fait défaut (respectivement La Plante pour le 18 mai et Rivière pour le 16 juin) et que si ce relevé avait été effectué, une simultanéité entre les 3 échelles aurait été probable.

Remarquons que dans la plupart des cas, l'évolution de la remontée se fait avec une correspondance faible ou nulle dans les 3 échelles.

Tableau 28

Capture d'une nasse installée en amont de l'échelle de Tailfer pendant une journée (de 9H. à 17H.)

DATE	20/04/88	21/04/88	27/04/88	28/04/88	29/04/88	05/05/88
T° de l'eau (°C)	13	13	12,6	13,1	13,1	14,5
9H			pose de la nasse			
10H	pose de la nasse	pose de la nasse	rien	pose de la nasse	pose de la nasse	pose de la nasse
11H	1 ablette	4 ablettes	rien	rien	1 gardon	1 ablette 1 gardon
12H	2 ablettes 1 gardon	2 ablettes	1 ablette	2 ablettes	5 ablettes	rien
13H	3 ablettes	1 ablette	1 gardon	rien	2 ablettes	62 ablettes
14H	5 ablettes	13 ablettes	1 gardon	4 ablettes 1 gardon	rien	1 perche 21 ablette
15H	4 ablettes	1 ablette	3 ablettes	rien	9 ablettes	12 ablettes
16H	rien	29 ablettes	1 ablette	2 ablettes	1 gardon 5 ablettes	11 ablette 3 gardons
17H	2 ablettes	1 ablette	3 gardons	rien	rien	7 ablettes 2 gardons
TOTAL	17 ablettes	51 ablettes	5 ablettes	8 ablettes	21 ablettes	114 ablettes

Tableau 29

Evaluation de la vitesse de remontée des poissons au crépuscule et pendant la nuit.

Echelle	LA PLANTE	TAILFER
Heure du relâchage	22H45	23H40
Poissons relâchés	73 ablettes 8 chevesnes	8 ablettes 16 chevesnes I hotu
Niveau du relâchage	palier 8	palier 4
Heure du contrôle	24H	4H15 (23/06/88)
Résultats du contrôle	palier 8: 5I ablettes I chevesne palier 9: 4 ablettes palier 10: I ablette I chevesne palier 11: rien palier 12: 2 chevesnes palier 13: rien palier 14 et 15: 2 chevesnes	paliers 4 et 5: 4 ablettes I hotu paliers 6 et 7: 3 chevesnes paliers 8 et 9 : 12 chevesnes paliers 10 et 11: rien paliers 12 et 13: I chevesne paliers 14 et 15: rien
Total du contrôle	56 ablettes 6 chevesnes	4 ablettes 16 chevesnes I hotu
Poissons supposés sortis	17 ablettes 2 chevesnes	4 ablettes
Durée de l'expérience	1H15	4H35

Tableau 30

Répartition du nombre de poissons capturés dans les différentes parties de l'échelle du barrage de Tailfer (11/03/88 au 30/06/88, 18 contrôles)
entre () : valeurs de la CIBE pour l'après-midi

(a) : pêche le matin

(b) : pêche l'après-midi

Date	T (°C)	Partie inférieure	Partie moyenne	Partie supérieure	Total
11/03/88	(5,5)	10	0	0	10
11/04/88	10,7	73	2	0	75
18/04/88	13,0	223	401	664	1 288
25/04/88(a)	12,9	2	1	0	3
25/04/88(b)	13,1	66	81	47	194
2/05/88	14,5	7	21	15	43
9/05/88	14,71	70	89	26	185
18/05/88	(20)	189	572	6	767
19/05/88	18,3	x	419	73	492
20/05/88	17,0	28 o	260	71	359
27/05/88	18,0	114	148	20	282
3/06/88	-	23	52	9	84
14/06/88	18,6	149	262	33	444
16/06/88	19,2	30 "	113	45	188
20/06/88	19,8	95 !	29	12	136
22/06/88	-	5	12	9	26
29/06/88	19,5	x	+	+	51
30/06/88	20,0	x	3	1	4
Total		1 084	2 465	1 031	4 631

x : pas de relevés à ce niveau

o : vidange incomplète

" : nombreuses anguilles non comptées

! : nombreuses alettes non comptées

5.3. Evolution de la remontée au cours d'un cycle journalier

5.3.1. Passage des poissons pendant la journée

La pose d'une nasse en amont de l'échelle (en vue d'étudier l'évolution de la remontée au cours d'une journée) a été faite à Tailfer pendant 6 jours entre le 20 avril et le 5 mai 1988. Les poissons ne passaient presque pas dans la nasse ; seules parfois les ablettes s'y aventuraient en grand nombre. Elles se faisaient prendre dans les mailles. Des relevés de la nasse étaient faits chaque heure entre 9 h et 17 h. Les résultats sont présentés au tableau **28**.

5.3.2. Mobilité dans les échelles pendant la nuit

Le 22 juin 1988, nous avons procédé à un essai pour estimer quelle était la mobilité des poissons pendant le crépuscule et pendant la nuit. Les résultats sont présentés au tableau **29**. On voit que lors des contrôles (après 1 h 15 ou 4 h 35 selon les cas), les chevesnes ont quitté le bassin dans lequel ils avaient été relâchés initialement mais pas les ablettes.

Le même type d'expérience répété la journée n'a pu aboutir à cause de difficultés techniques.

5.3.3. Mobilité dans les échelles pendant le jour

Le 25 avril 1988, une pêche a été faite à Tailfer le matin (9 h 30) et une seconde l'après-midi (à 14 h), le tableau **30** indique le résultat des 2 pêches (4e et 5e lignes du tableau) et permet de se rendre compte de la mobilité des poissons dans les échelles pendant le jour.

5.4. Résultat des pêches de nuit

Les pêches du 16 juin 1988 ont été faites au crépuscule pour La Plante (22 h 20) et la nuit pour Tailfer (23 h 50). Il en est de même pour les pêches de La Plante (22 h) et Tailfer (23 h 10) du 22 juin (tableaux **25** et **26**).

Tableau 31

Répartition des espèces dans les différentes parties de l'échelle de la Plante (27/05/87 au 18/08/87)

* : un comptage précis n'a pas été effectué

o : les vidanges n'ont pas toujours été complètes

Espèces	Partie inférieure o	Partie moyenne	Partie supérieure	Total
Brème commune	0	3	2	5
Ablette	226 *	17 *	8 *	251
Barbeau	1	1	1	3
Brème bordelière	54	71	18	143
Hotu	0	2	1	3
Chevesne	51	313	203	567
Gardon	23	49	23	95
Rotengle	0	1	0	1
Grémille	2	17	8	27
Perche	2	7	2	11
Truite fario	0	3	2	5
Anguille	0	9	1	10
Total	359	493	269	1 121

Tableau 32

Répartition des espèces dans les différentes parties de l'échelle
du barrage de La Plante (11/04/88 au 30/06/88)

* : un comptage précis n'a pas été effectué

o : les vidanges n'ont pas toujours été complètes

Espèces	Partie inférieure o	Partie moyenne	Partie supérieure	Total
Brème commune	7	4	0	11
Ablette	124 *	98 *	87	309
Barbeau	0	1	1	2
Brème bordelière	44	5	2	51
Hotu	0	0	1	1
Goujon	1	0	0	1
Chevesne	60	288	515	863
Vandoise	6	1	1	8
Gardon	142 *	137	91	370
Rotengle	1	0	0	1
Grémille	69	23	1	93
Perche	97	16	5	118
Truite fario	3	4	1	8
Anguille	16 *	7 *	5	28
Total	570	584	710	1 864

Tableau 33

Répartition des espèces dans les différentes parties de l'échelle
du barrage de Tailfer (11/03/88 au 30/06/88)

* : un comptage précis n' a pas été effectué

> : valeur réelle supérieure

Espèces	Partie inférieure	Partie moyenne	Partie supérieure	Total
Brème commune	1	1	3	5
Ablette	319 *	505	34	858
Brème bordelière	5	10	6	21
Hotu	0	2	2	4
Chevesne	481	1 544	265	2 290
Ide mélanote	1	0	0	1
Vandoise	3	6	3	12
Gardon	238	390	713	1 341
Perche	27	3	4	34
Truite arc-en-ciel	2	0	0	2
Truite fario	5	1	1	7
Anguille	> 2 *	3	0	5
Total	1 084	2 465	1 031	4 580

TABLEAU 34

Répartition des espèces dans les différentes parties de l'échelle du barrage de Rivière. (II.04.88 au 30.06.88)

0 : les vidanges n'ont pas toujours été complètes.

* : un comptage précis n'a pas été effectué.

Espèces	Partie inférieure 0	Partie moyenne	Partie supérieure	Total
Brème commune	7	18	2	27
Spirilin	0	I	0	I
Ablette	320*	142*	10	472
Brème bordelière	16	7	I	24
Hotu	I	0	I	2
Goujon	I	0	0	I
Chevesne	89	29I	106	486
Vandoise	I	0	9	10
Gardon	207*	126*	80	413
Tanche	2	0	0	2
Grémille	3	0	0	3
Perche	31	6	2	39
Truite de rivière	I	2	I	4
Anguille	21*	I*	0	22
Epinoche	I	0	0	I
TOTAL	70I	594	212	I.507

Les anguilles étaient abondantes en aval des échelles ; l'obscurité rendait difficile leur repérage dans les bassins mais il semble que peu d'entre elles se retrouvaient dans les paliers supérieurs par rapport au nombre qui se trouvait en aval.

A Tailfer, le nombre d'ablettes était moindre que celui obtenu lors des pêches diurnes effectuées à une période proche (20 et 29 juin) (Tableau 26). A La Plante, par contre, le nombre d'ablettes était assez important le 22 juin (73) (Tableau 25).

Les autres individus capturés étaient des chevesnes et il y avait également un hotu et une perche le 16 juin 1988 à La Plante et un hotu le 22 juin à Tailfer.

Les chevesnes qui sont pris dans les échelles à ce moment semblent moins nerveux et se débattent moins lors des manipulations que pendant la journée.

5.5. Répartition globale des espèces dans les différentes parties de l'échelle

Les tableaux 31 à 34 nous permettent de faire certaines constatations.

Les brèmes communes et les brèmes bordelières se retrouvent peu dans la partie supérieure par rapport au nombre total.

Les alettes se retrouvent en proportion faible dans les parties supérieures.

Les chevesnes se retrouvent en grand nombre dans les paliers supérieurs, surtout à La Plante. A Tailfer, la plus grande concentration se remarque dans la partie moyenne.

Les vandoises se retrouvent un peu partout dans les échelles, elles sont cependant plus localisées dans la partie inférieure pour La Plante en 1988 et dans la partie supérieure pour Rivière en 1988.

Les gardons se répartissent un peu partout dans les échelles, ils se concentrent un peu plus dans la partie supérieure pour Tailfer en 1988, le phénomène inverse s'observe pour Rivière en 1988.

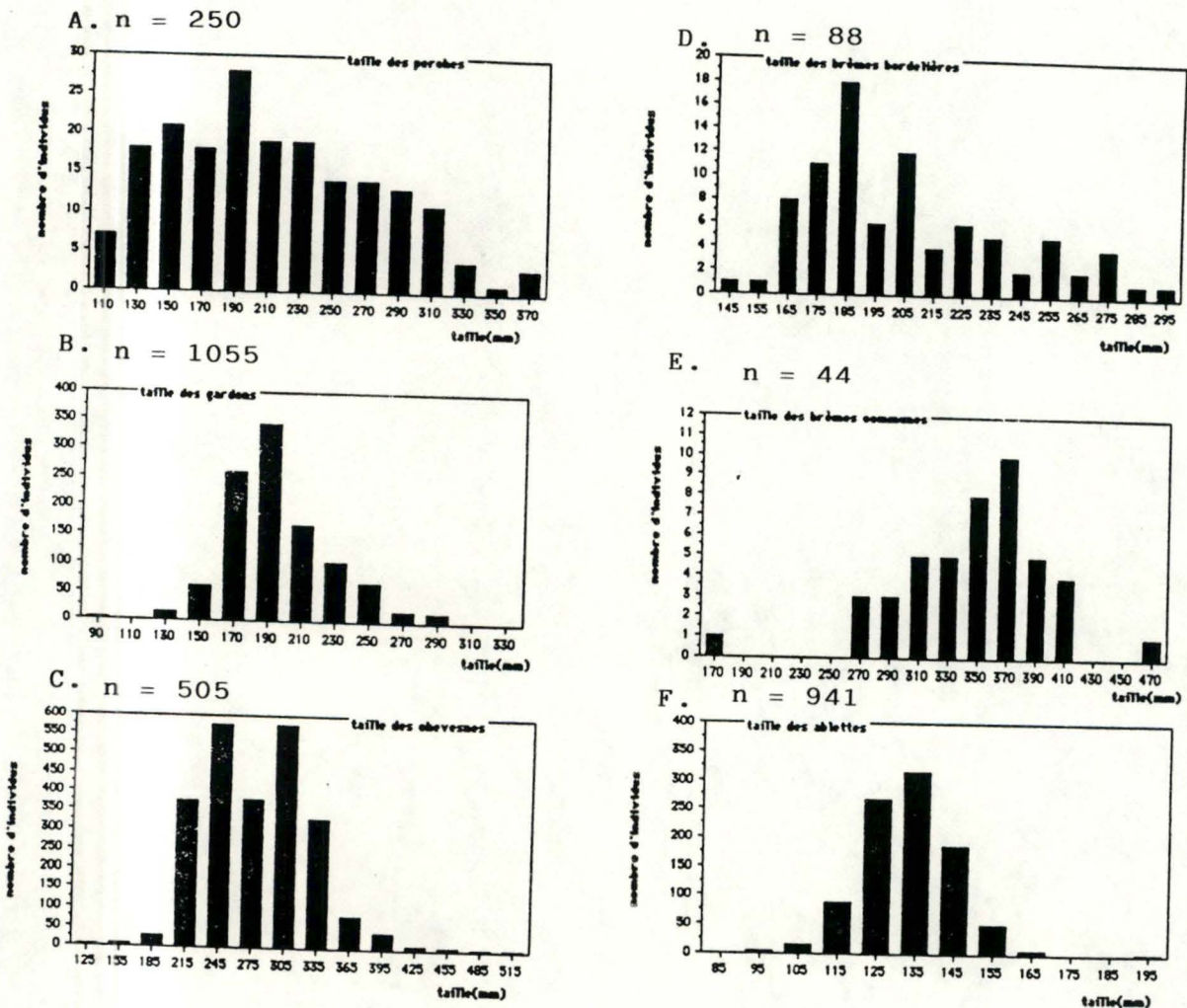


Fig. 77 : Distribution de fréquence de la taille des poissons capturés et mesurés dans les passes à poissons de La Plante, Tailfer et Rivière en 1988

A. : perches
 B. : gardons
 C. : chevesnes
 D. : brèmes bordelières
 E. : brèmes communes
 F. : ablettes

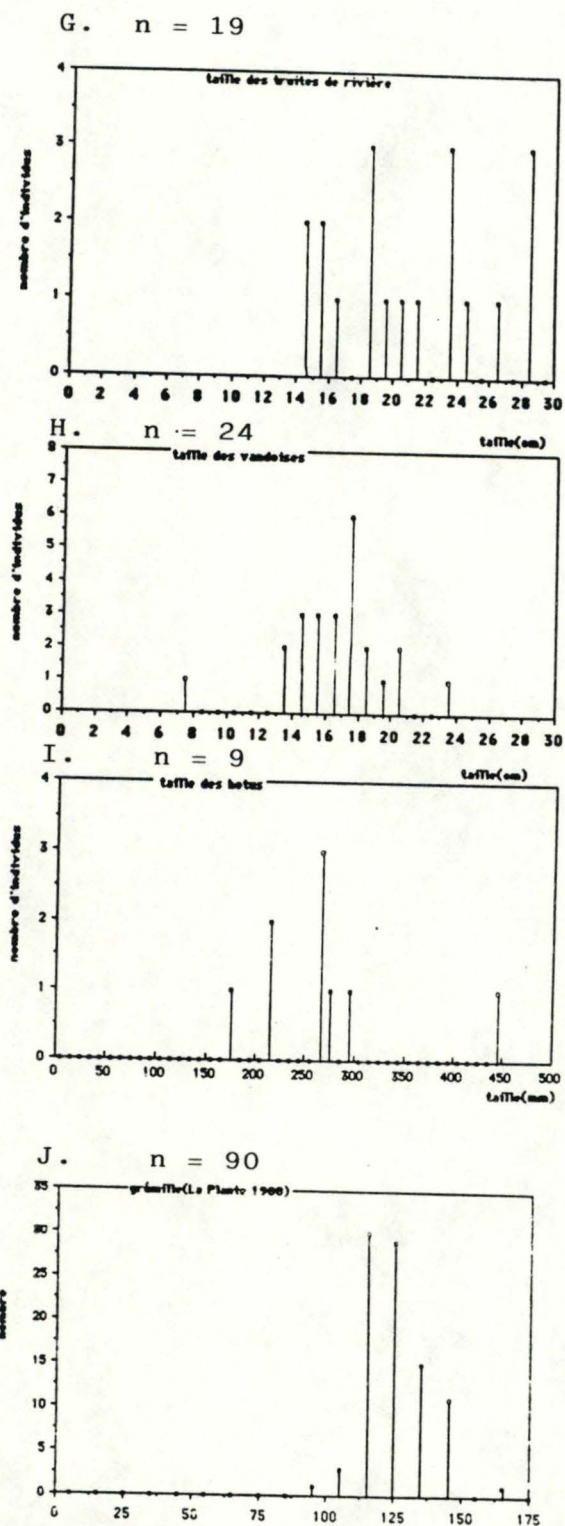


Fig. 77 (suite) : Distribution de fréquence de la taille des poissons capturés et mesurés dans les passes à poissons de La Plante, Tailfer et Rivière en 1988

G. : truites de rivière
 H. : vandoises
 I. : hotus
 J. : grémilles

Les perches se retrouvent jusque dans les parties supérieures mais elles fréquentent principalement les parties inférieures.

Les anguilles sont retrouvées dans la passe à bassins, peu d'entre elles sont retrouvées dans les paliers supérieurs et aucune dans les goulottes à anguilles qui souvent ne sont pas alimentées en eau.

Les grémilles se font plus rares de l'aval vers l'amont de la passe de *La Plante*

5.6. La taille des poissons remontant les échelles

5.6.1. Généralités (Fig.77.)

La plupart des perches mesurent entre 130 et 310 mm de long avec une classe modale pour 180-199 mm.

La plupart des gardons mesurent entre 140 et 260 mm de long avec une classe modale pour 180-199 mm.

La plupart des chevesnes ont une taille comprise entre 200 et 350 mm de long avec 2 classes modales centrées respectivement sur 230-260 et 290-320 mm.

La plupart des brèmes bordelières mesurent entre 160 et 280 mm de long avec une classe modale centrée sur 180-190 mm et seconde classe assez importante centrée sur 200-210 mm.

La plupart des brèmes communes mesurent entre 260 et 420 mm de long avec une classe modale pour 360-379 mm. Des tailles extrêmes sont à signaler (17 et 47 cm).

La plupart des ablettes mesurent entre 110 et 160 mm de long avec un mode à la classe 130-139 mm.

Les truites de rivière présentent de grandes variations de taille entre 14 et 28 cm de long.

Les grémilles mesuraient presque toutes entre 10 et 15 cm.

Toutes ces constatations se vérifient pratiquement pour les trois échelles prises individuellement.

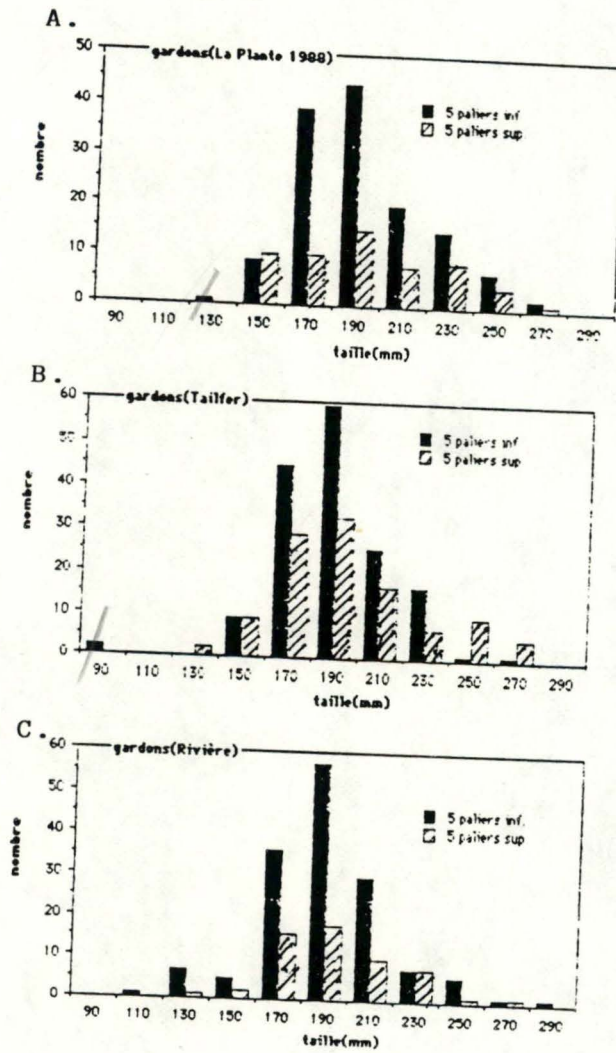


Fig. 78 : Distribution de fréquence de la taille des gardons capturés et mesurés dans les parties inférieures (en noir) et supérieures (en hachuré) des passes à poissons(pendant l'année 1988)

A. à La Plante
 B. à Tailfer
 C. à Rivière

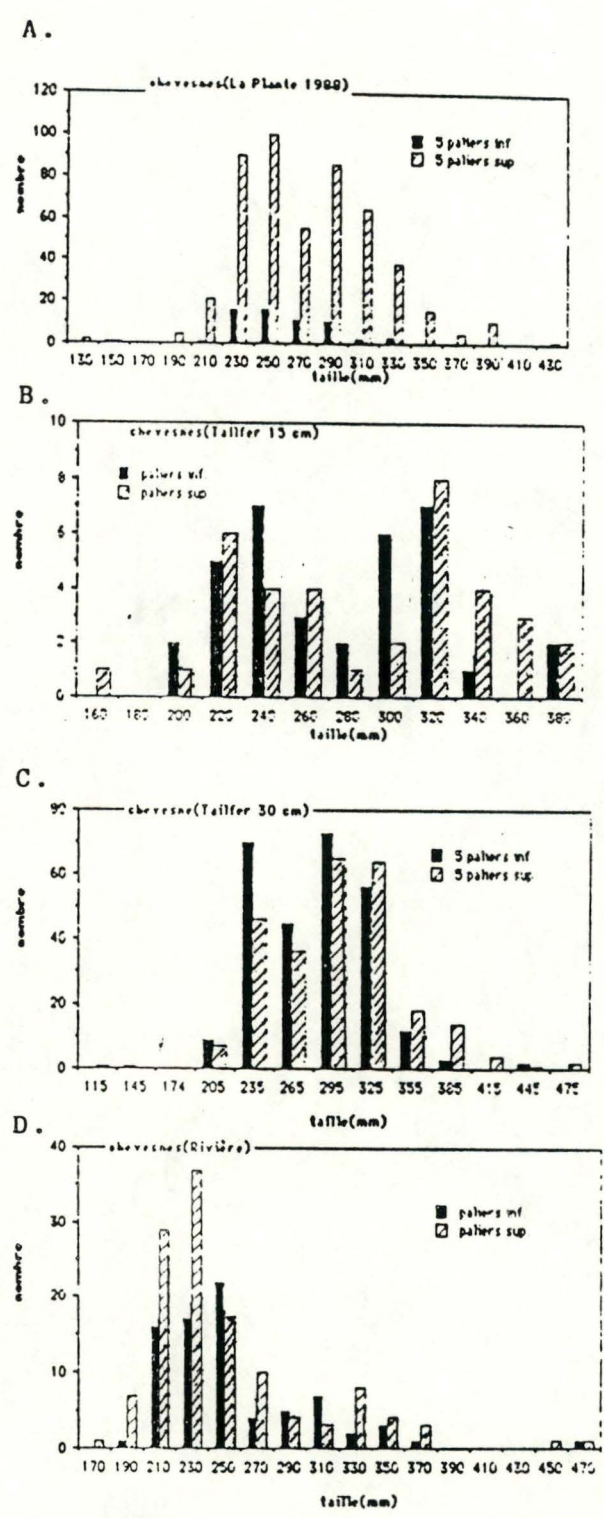
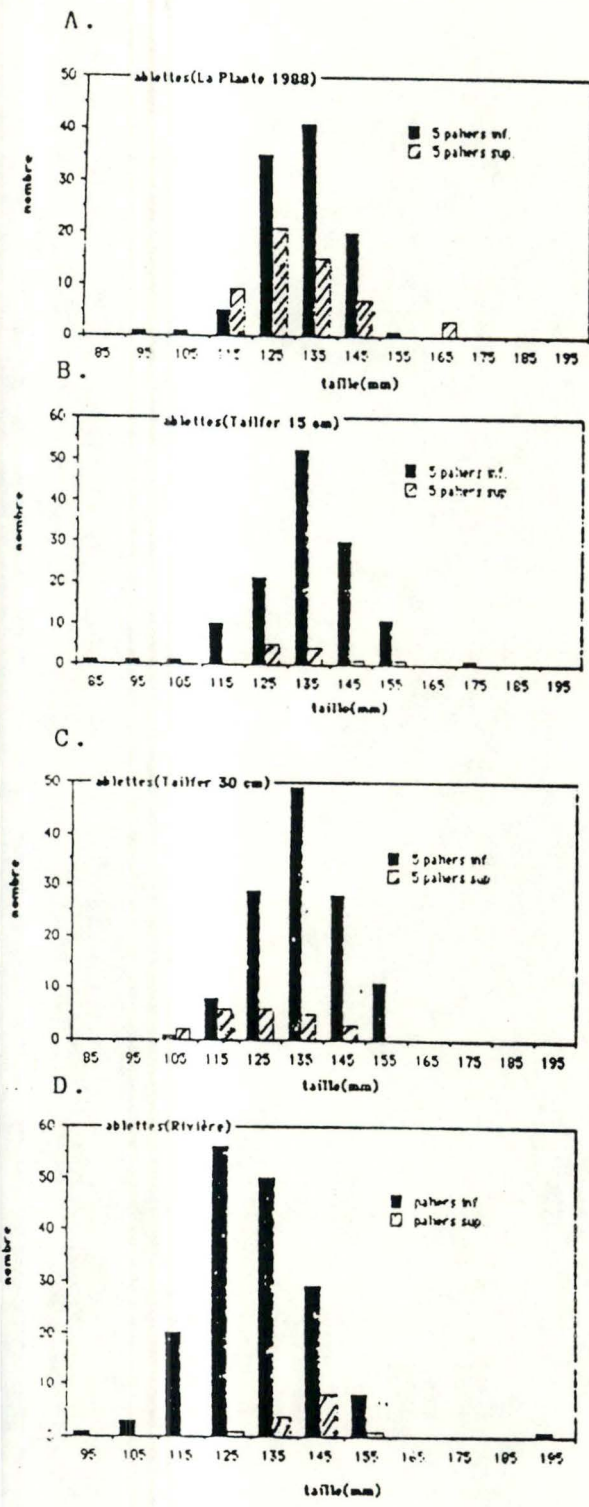


Fig. 79 :
 Distribution de fréquence de la taille des ablettes capturées et mesurées dans les parties inférieures (en noir) et supérieures (en hachuré) des passes à poissons (pendant l'année 1988)
 A. : à La Plante
 B. : à Tailfer (dénivellation de 15 cm à chaque bassin)
 C. : à Tailfer (dénivellation de 30 cm pour 1 bassin sur 2)
 D. : à Rivière

Fig. 80 :
 Distribution de fréquence de la taille des chevesnes capturés et mesurés dans les parties inférieures (en noir) et supérieures (en hachuré) des passes à poissons (pendant l'année 1988)
 A. : à La Plante
 B. : à Tailfer (dénivellation de 15 cm à chaque bassin)
 C. : à Tailfer (dénivellation de 30 cm pour 1 bassin sur 2)
 D. : à Rivière

La distribution de fréquence de la taille des chevesnes présente presque toujours 2 pics :

pour les paliers supérieurs de La Plante : 240-259 mm et 280-299 mm

pour les paliers inférieurs de Tailfer(15 cm): 230-249 mm et
310-329 mm

pour les paliers supérieurs de Tailfer(15 cm): 210-229 mm et
310-329 mm

pour les paliers inférieurs de Tailfer(30 cm): 220-250 mm et
280-310 mm

pour les paliers inférieurs de Rivière : 240-259 mm et 300-319 mm

pour les paliers supérieurs de Rivière : 220-239 mm et 320-339 mm.

5.6.2. Taille suivant les parties amont et aval de l'échelle

La classe modale des gardons reste 180-199 mm, que ce soit pour les parties inférieures ou supérieures des échelles (Fig. 78.). A Tailfer, les paliers supérieurs sont plus occupés par de grands spécimens (240-280 mm). A Rivière, les petits spécimens occupent une plus forte proportion que les grands dans les paliers inférieurs. C'est dans les paliers inférieurs de Tailfer et Rivière qu'on retrouve les plus petits spécimens (80 à 120 mm).

La figure 79 montre que la classe modale est décalée vers la gauche (les tailles les plus petites) pour les ablettes ayant atteint les paliers supérieurs par rapport à ceux qui sont dans les paliers inférieurs (sauf pour Rivière). C'est particulièrement marqué pour La Plante en 1988. Toutefois on ne retrouve pas les spécimens les plus petits (inférieurs à 100 mm) dans les paliers supérieurs. Pour Rivière, la classe modale est déplacée vers les tailles plus grandes pour les individus des paliers supérieurs ; notons que, pour cette échelle de Rivière, la classe modale pour les individus des paliers inférieurs est centrée sur une taille inférieure (120-129 mm) à celle qui existe pour les 2 autres échelles (130-139 mm) pour ces mêmes paliers inférieurs.

La distribution de fréquence de la taille des chevesnes présente presque toujours deux pics (Fig. 80).

Tableau 35

Longueur minimale des différentes espèces de poissons dans les parties inférieures et supérieures des échelles de La Plante, Tailfer et Rivière

LP : La Plante

T : Tailfer

R : Rivière

	Paliers inférieurs				Paliers supérieurs			
	LP 87	LP 88	T 88	R 88	LP 87	LP 88	T 88	R 88
Brème commune	-	274	165	276	370	-	269	312
Spiralin	-	-	-	-	-	-	-	124
Ablette	80	90	106 ⁸⁵	98	-	123 ¹¹²	112 ¹⁰⁵	112 ¹⁰⁸
Barbeau	340	-	-	-	380	680	-	-
Brème bordelière	140	158	179	160	140	155	173	160 ¹⁸⁶
Hotu	-	-	-	262	210	443	175	274
Goujon	-	100	-	168	-	-	-	-
Chevesne	200	216	143	196	150	127	117	168
Ide mélanote	-	-	198	-	-	-	-	-
Vandoise	-	135	156 ¹⁴²	-	-	202	150	133
Gardon	150	142 ¹³⁷	142 ¹³⁶	115	150	150 ¹⁴⁰	137	138
Rotengle	-	165	-	-	-	-	-	-
Tanche	-	-	-	335	-	-	-	-
Grémille	150	98	-	139	110	132	-	-
Perche	260	102	128	152	180	145	141	169
Truite arc-en-ciel	-	-	282	-	-	-	-	155
Truite de rivière	-	183	206	265	200	149	280	144
Epinoche	-	-	54	54	-	-	-	-

Tableau 36Sexe des brèmes bordelières capturées dans les 3 échelles en 1988

Date	Nbre de mâles	%	Nbre de femelles	%	Total	*
9/05	2	100	0	0	2	4
18/05	2	100	0	0	2	2
19/05	3	100	0	0	3	15
27/05	6	100	0	0	6	21
Total	13	100	0	0	13	42

* Nombre d'individus de sexe indéterminé parmi ceux examinés

Tableau 37Sexe des brèmes communes capturées dans les 3 échelles en 1988

Date	Nbre de mâles	%	Nbre de femelles	%	Total	*
9/05	1	100	0	0	1	3
18/05	1	100	0	0	1	0
27/5	13	59,1	8	40,9	21	8
3/06	1	50	1	50	2	0
Total	16	64	9	36	25	11

* Nombre d'individus de sexe indéterminé parmi ceux examinés

Tableau 38Sexe des perches capturées dans les 3 échelles en 1988

Date	Nbre de mâles	%	Nbre de femelles	%	Total	*
11/04	6	37,5	10	62,5	16	4
18/04	10	71,4	4	28,6	14	4
25/04	9	40,9	13	59,1	22	12
2/05	4	44,4	5	55,6	9	6
9/05	1	100	0	0	1	4
19/05	4	100	0	0	4	29
Total	34	51,5	31	48,5	66	59

* Nombre d'individus de sexe indéterminé parmi ceux examinés

Tableau 39Sexe des gardons capturés dans les 3 échelles en 1988

Date	Nbre de mâles	%	Nbre femelles	%	Total	*
11/04	30	83,3	6	16,7	36	108
18/04	192	97,5	5	2,5	197	1 249
25/04	30	96,8	1	3,2	31	321
2/05	10	76,9	3	23,1	13	84
9/05	1	100	0	0	1	27
19/05	5	83,3	1	16,7	6	44
Total	268	94,4	16	5,6	284	1 833

* Nombre d'individus de sexe indéterminé parmi ceux examinés

Tableau 40Sexe des grémilles capturées dans les 3 échelles en 1988

Date	Nbre de mâles	%	Nbre de femelles	%	Total	*
11/04	9	81,8	2	18,2	11	37

* Nombre d'individus de sexe indéterminé parmi ceux examinés

Une différence de la taille des individus dans les parties inférieures et supérieures pour La Plante n'apparaît pas de manière nette.

Des graphiques n'ont été dressés que pour les 3 espèces que nous venons de considérer car ce sont les seules à se prêter à un tel traitement grâce à leur nombre.

La longueur minimale des différentes espèces de poissons capturées dans les paliers inférieurs et supérieurs est donnée dans le tableau **35**. On peut comparer ainsi la longueur minimale que l'on a pu relever pour chaque espèce entre les parties inférieures et supérieures de chaque échelle. Pour les ablettes, les brèmes communes et les barbeaux, on remarque que les tailles minimales sont plus grandes dans les paliers supérieurs que dans les paliers inférieurs. Pour les chevesnes, il semble qu'au contraire les tailles minimales soient moins grandes dans les parties supérieures.

5.7. Sexe des poissons capturés

Le sex-ratio est défini comme étant le rapport du nombre de mâles sur le nombre de femelles dans une population donnée. Chez les poissons (comme d'ailleurs chez d'autres vertébrés), le sex-ratio peut varier fortement suivant les espèces, les âges et même les endroits.

Toutes les brèmes bordelières sexées étaient des mâles ; le nombre d'individus non sexés est très important. (Tableau **36**).

La proportion de brèmes communes sexées est importante surtout le 27 mai où l'on voit qu'il y a prédominance des mâles (Tableau **37**).

Globalement, le nombre de mâles et de femelles étaient presque identique pour les perches; le sex-ratio variait d'une date à une autre. La proportion d'individus sexés était surtout importante le 11 avril (où il y a prédominance de femelles) et le 18 avril (où le rapport des sexes est à l'avantage des mâles)(Tableau **38**).

La presque totalité des gardons sexés étaient des mâles, le sex-ratio étant assez variable d'une date à une autre. Cependant

Tableau 41

Sexe des chevesnes capturés dans les 3 échelles en 1988

Date	Nbre de mâles	%	Nbre de femelles	%	Total	*
25/04	1	100	0	0	1	7
2/05	47	94	3	6	50	12
9/05	149	89,2	18	10,8	167	101
18/05	200	93,5	14	6,5	214	687
19/05	211	96,3	8	3,7	219	45
20/05	258	96,3	10	3,7	268	135
27/05	405	92,9	31	7,1	436	97
3/06	79	94,0	5	6,0	84	26
14/06	626	91,5	58	8,5	684	35
16/06	223	91,8	20	8,2	243	35
20/06	52	96,3	2	3,7	54	2
22/06	16	80	4	20	20	4
29/06	10	100	0	0	10	1
Total	2 277	92,9	173	7,1	2 450	1 187

* Nombre d'individus de sexe indéterminé parmi ceux examinés

Tableau 42

Sexe des ablettes capturées dans les 3 échelles en 1988

Date	Nbre de mâles	%	Nbre de femelles	%	Total	*
18/05	39	86,7	6	13,3	45	84
19/05	30	93,7	2	6,3	32	398
20/05	5	33,3	10	66,6	15	0
27/05	40	95,2	2	4,8	42	26
3/06	3	100	0	0	3	3
14/06	4	50	4	50	8	8
16/06	4	100	0	0	4	1
20/06	90	76,9	27	23,1	117	7
22/06	4	100	0	0	4	77
29/06	4	100	0	0	4	36
Total	223	81,4	51	18,6	274	640

* Nombre d'individus de sexe indéterminé parmi ceux examinés

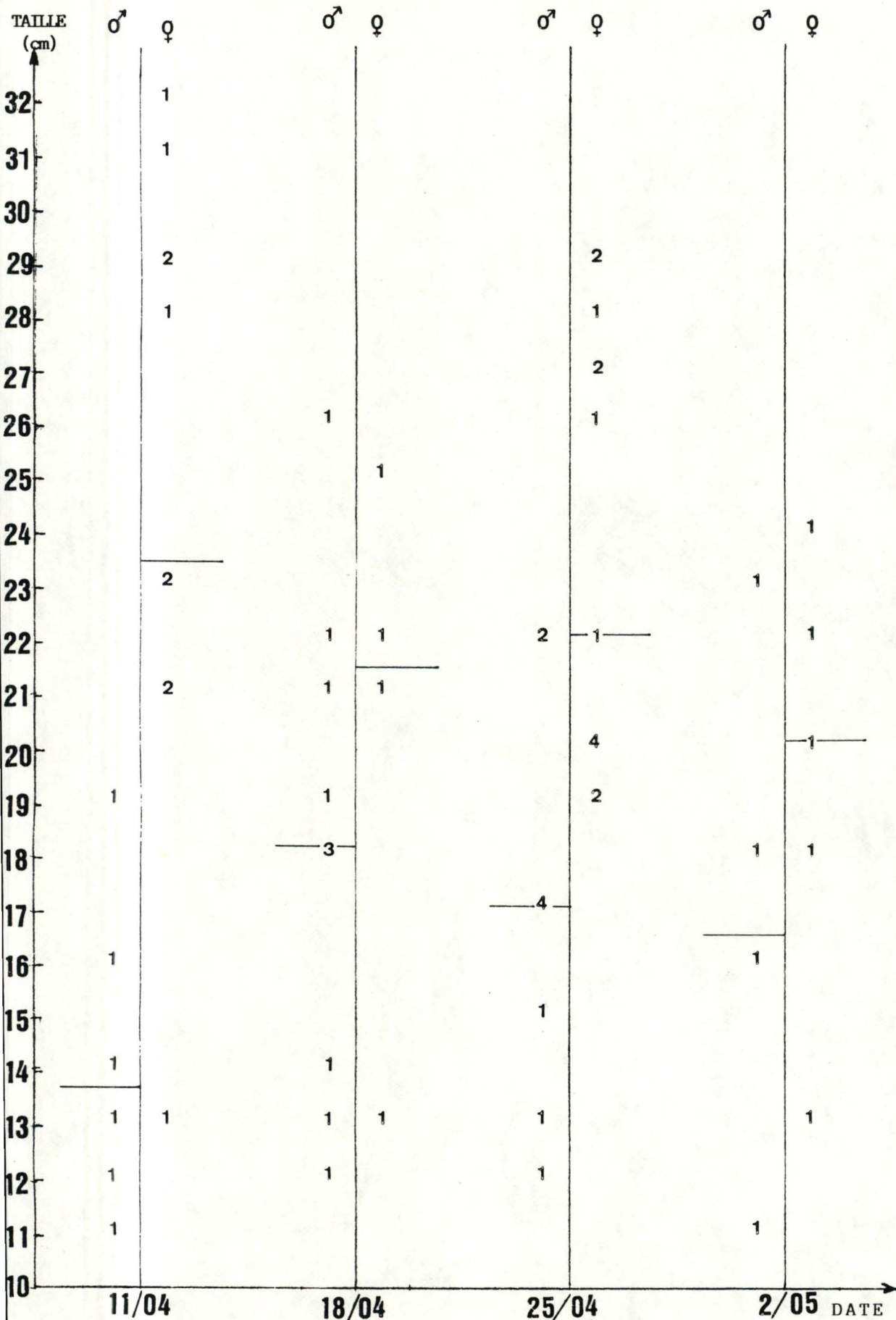


Tableau 43 : Taille des perches suivant leur sexe et suivant la période pour les trois échelles étudiées en 1988 (la médiane est indiquée par la petite barre horizontale).

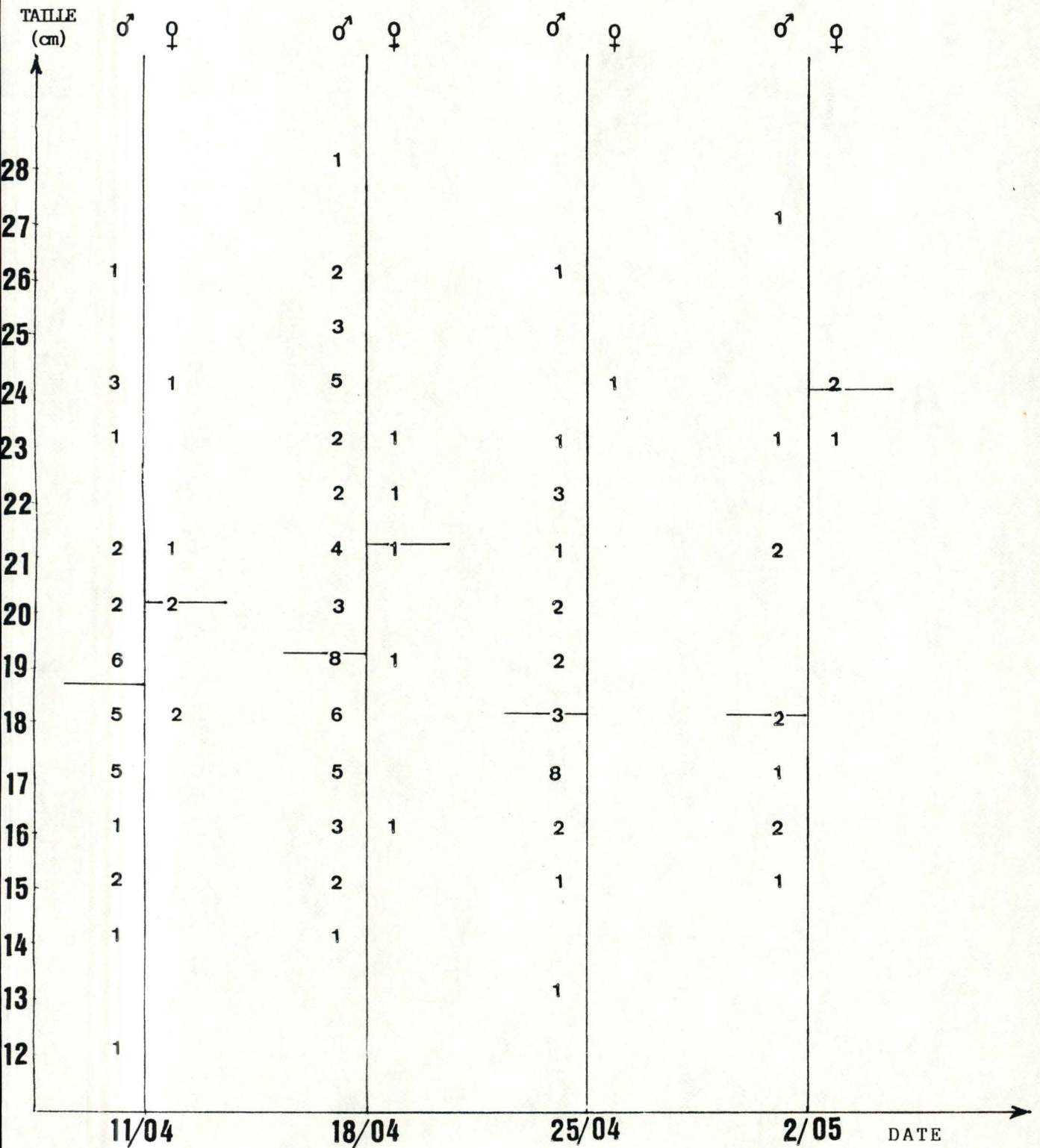


Tableau 44 : Taille des gardons suivant leur sexe et suivant la période pour les trois échelles étudiées en 1988. (la médiane est indiquée par la petite barre horizontale).

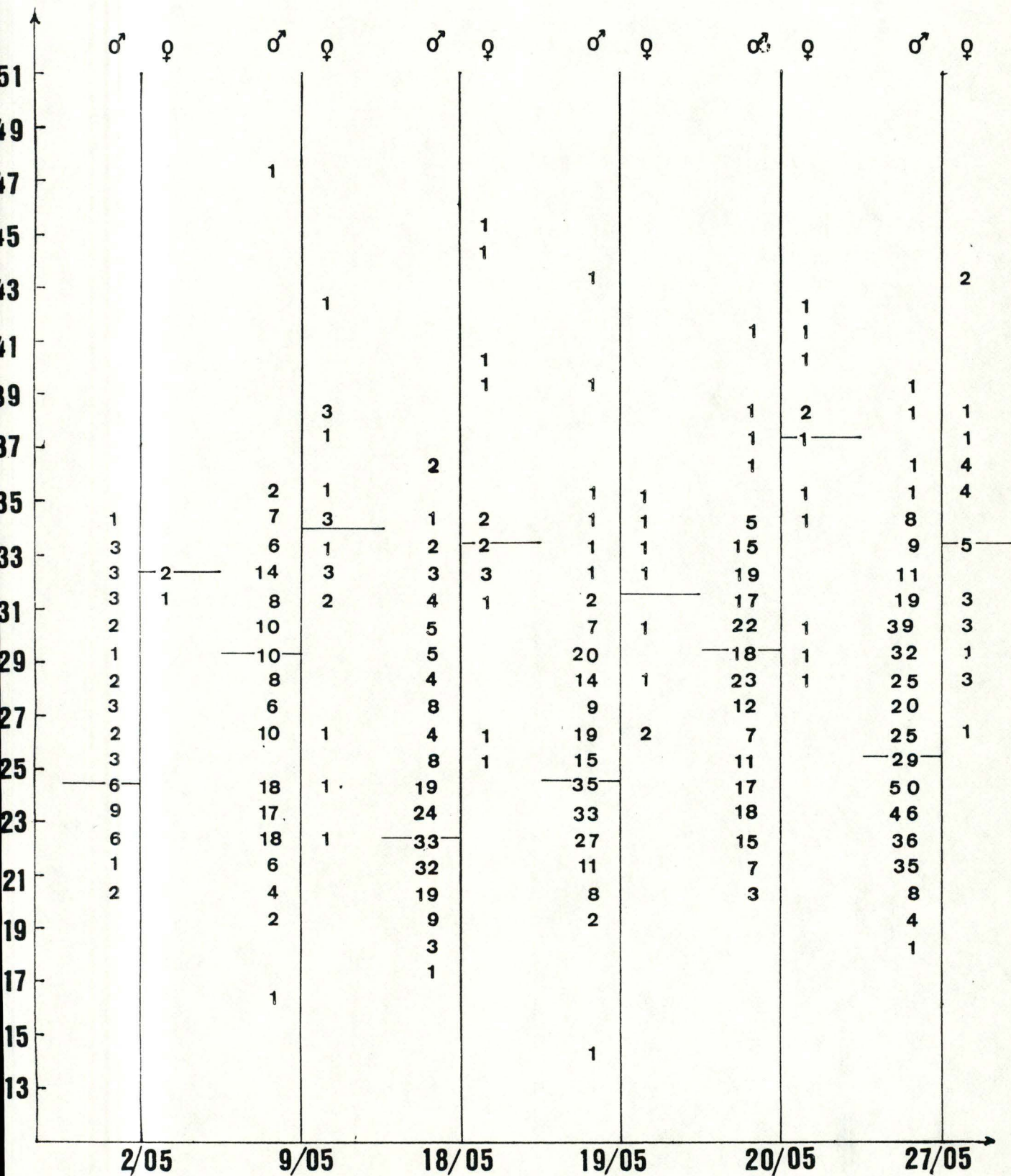
TAILLE
(cm)

Tableau 45 : Taille des chevesnes suivant leur sexe et suivant la période pour les trois échelles étudiées en 1988. (la médiane est indiquée par la petite barre horizontale).

DATE

TAILLE
(cm)

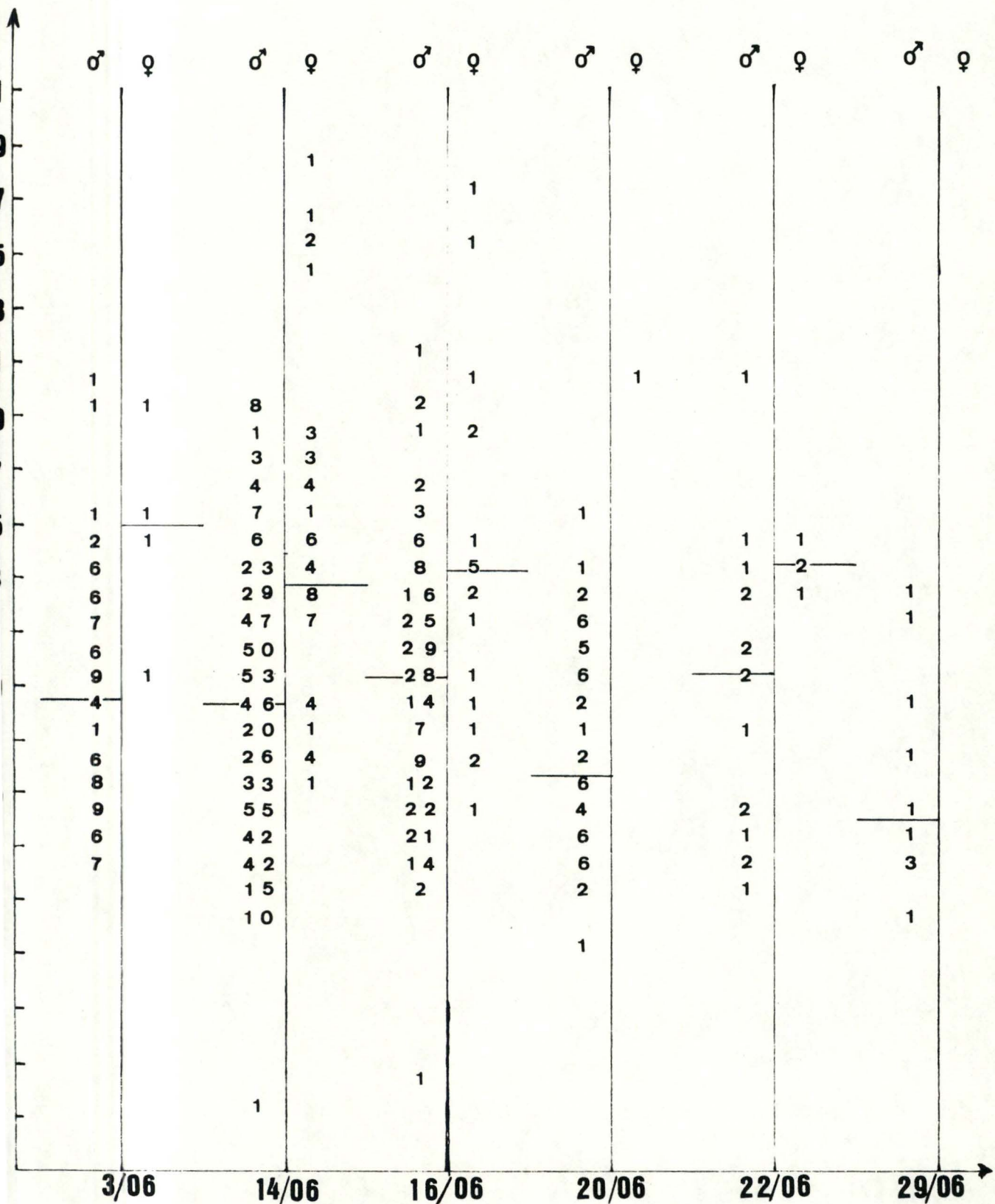


Tableau 45 : (suite) Taille des chevesnes suivant leur sexe et suivant la période pour les trois échelles étudiées en 1988 (la médiane est indiquée par la petite barre horizontale).

la proportion des individus sexés est trop insignifiante que pour lui accorder une quelconque valeur (Tableau **39**).

Les grémilles sexées étaient en majorité des mâles mais beaucoup d'individus sont restés non-sexés (Tableau **40**).

Le plus grand nombre des chevesnes sexés étaient des mâles. La proportion des mâles est constamment égale au minimum à 80 %, quelle que soit la date. Les 14, 16 et 20 juin, la proportion d'individus sexés était très importante et nous constatons que les mâles représentent encore plus de 90 % de ceux-ci (Tab. **41**).

Plus de 80 % des ablettes sexées étaient des mâles (Tab. **42**), il est intéressant de noter que le 20 mai et le 20 juin, la proportion des individus sexés est particulièrement importante et donc le sex-ratio que l'on obtient est plus fiable. Cependant, on voit que dans les deux cas, les résultats sont très divergents, 33 % de mâles le 20 mai, 77 % le 20 juin. Le résultat du 20 juin est plus digne de confiance si l'on considère que le nombre absolu d'individus sexés est plus important.

Le tableau **43** montre que les perches femelles capturées sont toujours d'une taille supérieure à celle des mâles et ceci quelle que soit la date, le tableau indique en effet la valeur médiane de la taille pour chacun des sexes à chaque date. La valeur médiane apprécie mieux dans ce cas la taille des populations que la moyenne car cette dernière risque d'être faussement et exagérément changée lorsque l'on a affaire à quelques spécimens d'une taille exceptionnelle.

Le tableau **44** montre le même phénomène pour les gardons. Remarquons que la taille des femelles semble devenir toujours plus importante au fur et à mesure que la saison avance tandis que la taille des mâles semble demeurer assez constante (18 à 19 cm).

Le tableau **45** montre que la taille des chevesnes femelles est toujours plus importante que celle des mâles. Sauf pour 4 dates (19 mai, 20 juin, 22 juin, 29 juin), on remarque qu'une augmentation ou une diminution de la taille d'un des sexes lors du passage d'une date à la suivante s'accompagne d'une variation dans le même sens (respectivement une augmentation ou une diminution) pour la taille des individus et l'autre sexe. Ceci n'est pas le cas pour les gardons et les perches.

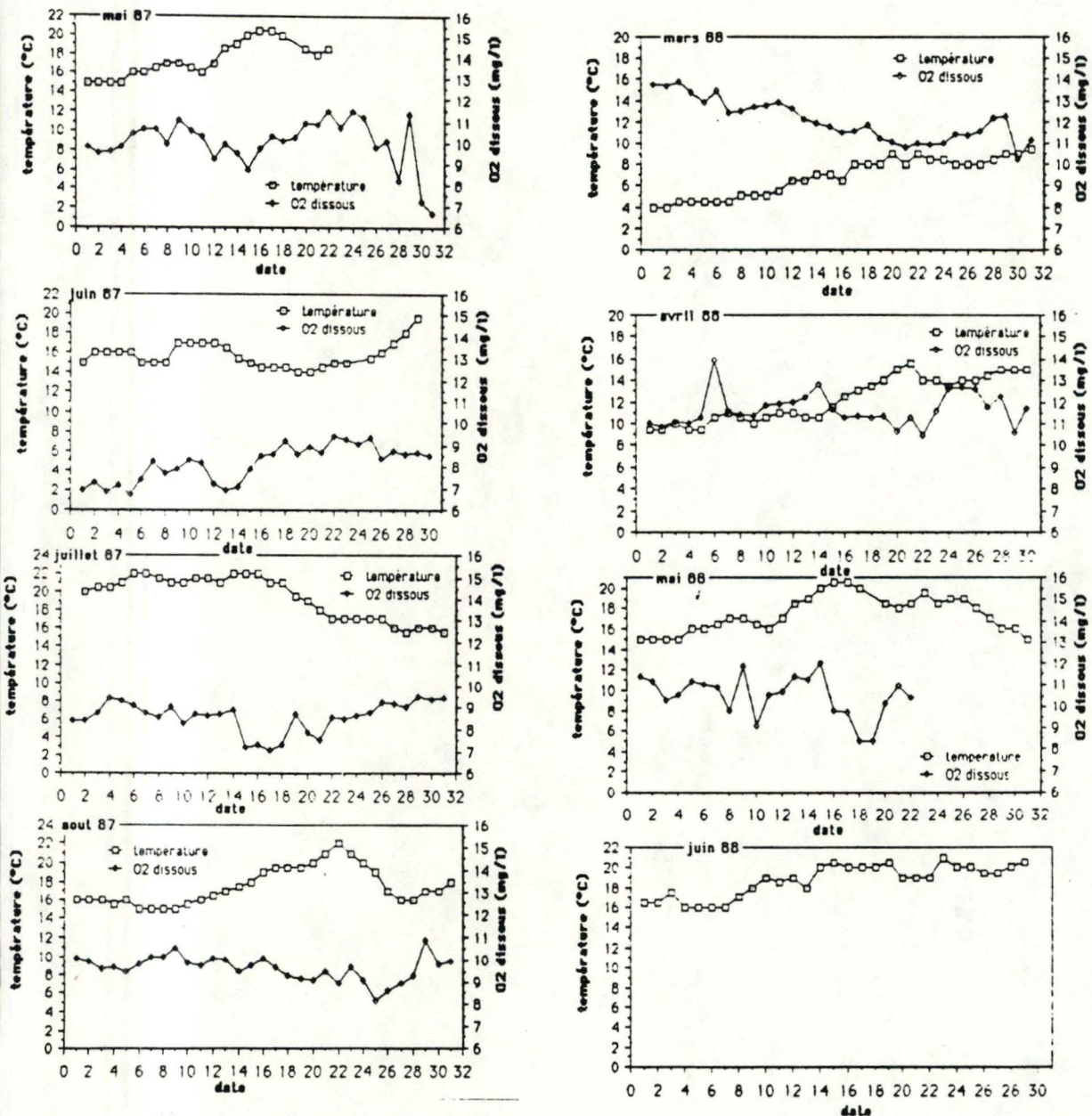


Fig. 81 : Evolution de la température et de la concentration en oxygène dissous de l'eau de la Meuse à Tailfer pendant la période d'étude des passes à poissons de la Meuse moyenne supérieure (à 8 h du matin) (d'après CIBE, com. pers.).

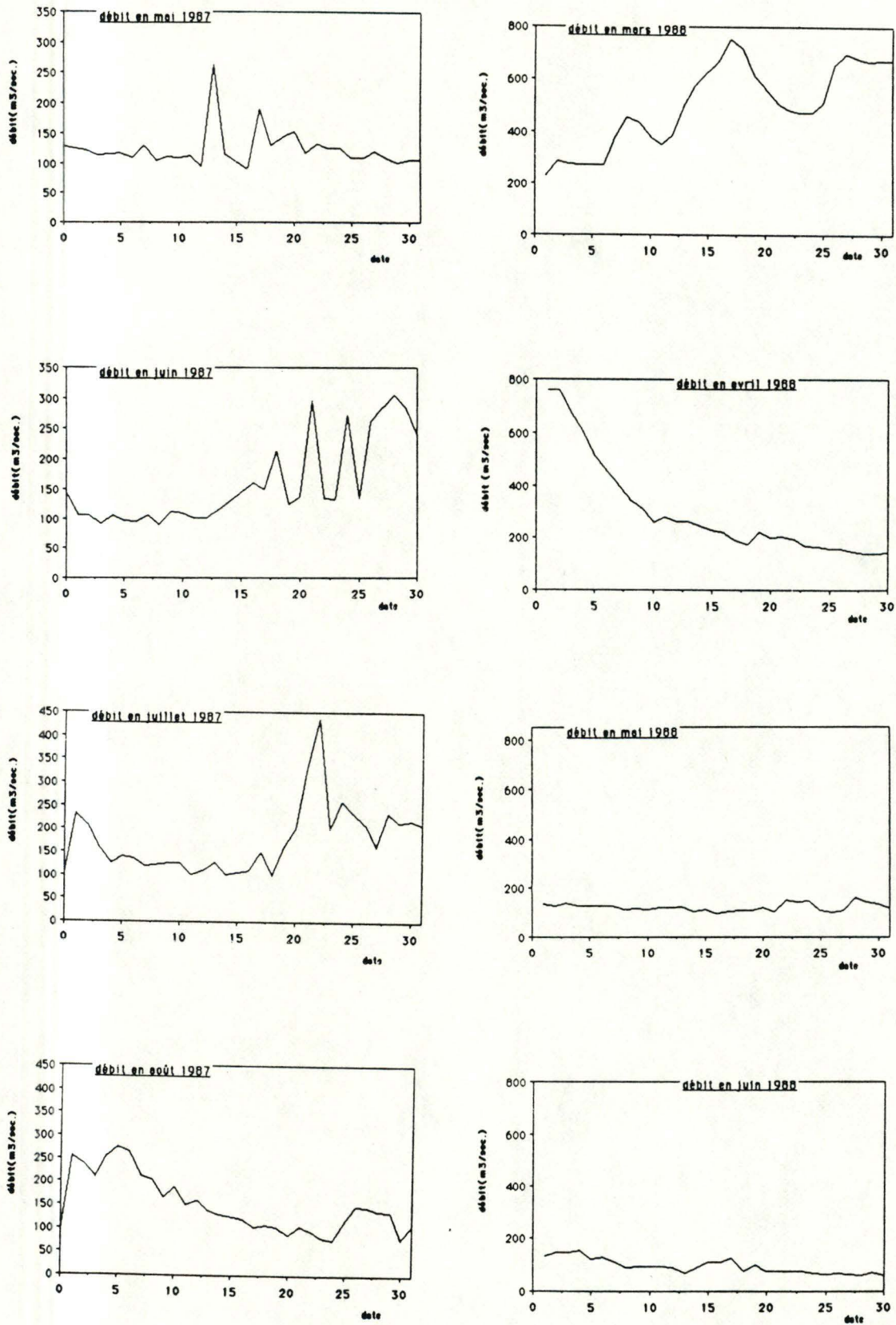


Fig. 82 : Evolution du débit de la Meuse à Chooz pendant la période d'étude des passes à poissons de la Meuse moyenne supérieure (les valeurs sont corrigées par un coefficient tenant compte de l'apport des affluents) (d'après CIBE, com. pers.).

Tableau 46

Données sur les conditions météorologiques pendant les journées de capture. (Bulletins de l'IRM)

Données concernant l'année 1987.

DATE	(I) (6) T° max. air (°C)	(I) (6) T° min. air (°C)	(I) (6) T° moy. air (°C)	(I) précipi- tations (mm)	(2) insola- tion (Heure- min.)	(3) rayonne- ment direct (J/m ²)	(4) (7) brouil- lard	(4) (8) vitesse moyenne journali- ère du vent (Km/H)	(4) (8) vitesse maximale du vent (Km/H)	(4) (9) direction du vent à midi	(4) duree des pré- cipita- (heure- min.)	(5) (10) orages	(4) P.atm. (mm Hg)
25/05	23.9	6.7	15.3	-	13H30	2191	-	-	22	E	2H02	-	1018.8
26/05	23.8	8.0	15.9	-	10H20	1665	-	-	30	NE	7H23	-	1015.7
27/05	17.0	10.2	13.6	0.1	0H00	13	-	-	41	SSW	-	-	1012.3
30.05	18.2	7.7	13.0	6.6	0H.15	279	-	-	41	W	-	-	1023.4
31/05	14.4	10.3	12.4	10.0	0H 35	202	0	13	33	W	-	-	1018.8
01/06	19.4	5.8	12.6	-	6H30	894	2	13	44	W	-	-	1021.9
07.06	19.7	11.0	15.4	13.6	6H40	526	-	-	56	SSW	2H28	-	1008.0
08.06	15.0	9.4	12.2	3.3	0.20	9	-	-	104	SW	7H48	-	1008.7
09.06	15.8	7.8	11.8	4.4	6H05	1347	-	-	50	SSW	3H03	X	1006.8
13/06	13.5	8.7	11.1	12.1	0H00	0	-	9	30	N	15H07	-	1012.5
14/06	18.2	9.1	13.7	0.2	6H30	703	-	-	22	VR	0H53	-	1013.5
15/06	13.3	9.4	11.4	17.2	0H00	19	-	-	24	NNW	17H08	-	1008.5
20/06	16.3	10.6	13.5	2.1	2H05	761	-	13	41	N	2H55	-	1008.6
21/06	18.4	5.2	11.8	2.5	1H10	223	-	-	30	S	2H37	-	1018.4
22/06	18.1	6.6	12.4	11.6	1H45	82	-	-	43	SW	8H30	-	1021.4
28/06	23.0	12.5	17.8	0.1	0H00	5	-	-	22	SW	2H15	-	1023.6
29/06	30.7	15.7	23.2	0.1	14H10	2028	-	-	22	SE	-	-	1022.7
30/06	30.8	16.3	23.6	1.5	7H30	1446	-	-	30	SSW	0H.08	X	1019.2
08.07	22.0	14.8	18.4	-	6H25	1412	-	-	-	NNW	0H27	-	1018.3
09.07	21.4	9.2	15.3	-	10H30	1481	-	-	-	W	-	-	1021.8
10.07	24.1	7.0	15.6	-	9H55	1710	-	-	-	WSW	-	-	1022.9

Suite tableau 46

DATE	(I) (6) T° max. air (°C)	(I) (6) T° MIN. air (°C)	(I) (6) T° moy. air (°C)	(I) précipi- tations (mm)	(2) insola- tion (Heure- min.)	(3) rayon- nement direct (J/m2)	(4) (7) brouil- lard	(4) (8) vitesse moyenne journali- ère du vent (Km/H)	(4) (8) vitesse maximale du vent (Km/H)	(4) (9) direction du vent à midi	(4) durée des pré- cipita- tions (Heure- min.)	(5) (10) orages	(4) P. atm. (mm Hg)
12/07	22.4	14.6	18.5	-	5H40	1195	-	-	-	NNW	-	-	1017.1
13/07	24.4	9.9	17.2	-	10H55	1525	-	-	-	VR	-	-	1020.1
14/07	29.2	10.5	19.9	4.5	12H00	1844	-	-	-	ESE	2H42	X	1015.2
03/08	18.1	11.3	14.7	8.2	1H15	44	I	15	48	W	8H17	-	1012.2
04/08	17.4	11.1	14.3	2.5	7H05	1295	2	9	37	NW	0H42	X	1017.3
05/08	15.6	7.7	11.7	0.1	6H00	998	-	13	44	WNW	1H31	X	1021.3
16/08	27.2	11.2	19.2	-	12H25	3023	-	6	30	SSW	-	-	1019.4
17/08	27.6	12.4	20.0	1.2	4H50	414	-	6	22	SSW	-	-	1014.0
18/08	21.8	15.0	18.4	6.0	0H35	76	-	13	37	W	1H15	X	1015.0

Tableau 47

Données sur les conditions météorologiques pendant les journées de capture (Bulletins IRM)

Données concernant l'année 1988

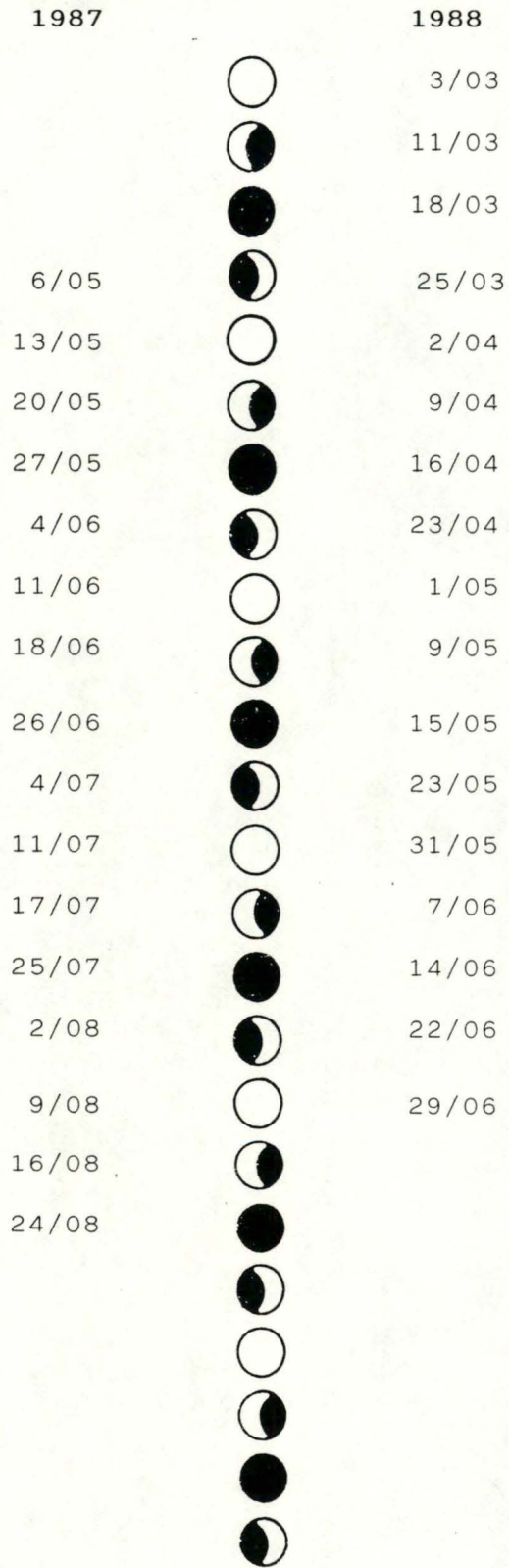
DATE	(1) (6) T° maxi. air (°C)	(1) (6) T° min. air (°C)	(1) (6) T° moy. air (°C)	(1) précipita- tions (mm)	(2) insola- tion (heure- min.)	(3) rayonne- ment direct (J/m2)	(4) (7) brouil- lard	(4) (8) vitesse moyenne journali- ère du vent (Km/H)	(4) (8) vitesse maximale du vent (Km/H)	(4) (9) direction du vent à midi	(4) durée des précé- pitations (heure- min)	(5) (10) orages	(4) P.atm. (mm Hg)
09/03	4.0	-2.0	1.0	0.7	0H00	5	-	11	33	S	5H31	-	1028.3
10/03	7.0	-0.5	3.3	2.0	0H05	25	0	17	37	WSW	6H57	-	1026.9
11/03	8.0	3.3	5.7	9.0	0H40	17	-	22	57	W	8H50	-	1025.1
09/04	5.4	5.3	5.4	0.1	0H00	66	-	13	33	NNE	1H48	-	1018.5
10/04	11.2	-2.7	4.3	-	9H00	3077	0	6	24	SW	-	-	1023.4
11/04	15.4	-1.9	6.8	-	11H50	2734	-	4	28	VR	-	-	1019.8
16/04	20.8	8.2	14.5	4.0	2H50	274	-	11	33	S	8H45	-	1008.3
17/04	17.7	10.5	14.1	9.5	3H30	133	-	7	26	W	0H57	-	1009.2
18/04	20.5	9.3	14.9	1.3	6H55	1205	-	7	26	S	-	-	1012.1
23/04	10.3	1.0	5.7	-	13H25	3581	-	28	54	ENE	-	-	1019.1
24/04	13.0	-1.1	6.0	-	13H45	3648	-	20	41	ENE	-	-	1017.0
25/04	14.0	-1.2	6.4	-	12H45	2674	-	15	37	NNE	-	-	1015.5
29/04	17.0	1.8	9.4	-	4H50	403	-	6	28	SW	0H05	-	1012.2
01/05	20.4	6.0	13.2	6.6	5H20	1028	-	17	52	SSE	4H13	-	-
02/05	18.2	8.5	13.4	3.3	6H05	1323	-	19	43	EEW	0H20	X	-
07/05	25.4	5.7	15.6	-	4H55	511	-	13	32	ESE	0H53	-	-
08/05	23.5	9.2	16.4	5.3	0H40	248	-	9	17	SE	1H55	-	-
09/05	23.0	13.6	18.3	37.6	5H55	471	2	9	22	SW	8H12	X	-

suite tableau 47

DATE	(1) (6) T° maxi. air (°C)	(1) (6) T° min. air (°C)	(1) (6) T° moyen air (°C)	(1) précipi- tations (mm)	(2) insola- tion (heure- min)	(3) rayonne- ment direct (J/m2)	(4) (7) brouil- lard	(4) (8) vitesse moyenne journali- ère du vent (Km/H)	(4) (8) vitesse maximale du vent (Km/H)	(4) (9) direction du vent à midi	(4) duree des précipi- tations (heure- min)	(5) (10) orages	(4) P.atm. (mm Hg)
16/05	25.6	12.0	18.8	-	11H30	1580	-	6	17	ENE	-	X	-
17/05	22.9	11.1	17.0	-	10H40	1227	-	6	19	WNN	-	-	-
18/05	16.0	9.4	12.7	0.8	2H20	102	-	7	19	NE	-	X	-
19/05	9.9	8.5	9.2	1.8	0H00	41	-	7	20	N	8H59	-	-
20/05	13.0	6.2	9.6	0.1	10H10	1685	-	11	22	NW	2H30	-	-
25/05	25.3	11.7	18.5	3.5	6H45	1398	-	7	7	E	1H29	X	-
26/05	23.0	13.3	18.2	16.5	5H05	918	-	9	9	SSW	8H29	X	-
27/05	13.2	12.5	12.9	13.0	0H00	0	-	15	15	NW	16H55	X	-

Légende des tableau 47 et 48

- (1) : données de la station de MALONNE
- (2) : données de la station de GEMBOUX
- (3) : données de la station d'UCCLE
- (4) : données de la station de FLORENNES
- (5) : valable pour la province de NAMUR
- (6) : mesures faites à 1.5m de hauteur, sous abri,
au-dessus d'un sol gazonné
- (7) : 0 = visibilité horizontale comprise entre 500 et
1000m au moment de son opacité maximale.
I = visibilité horizontale comprise entre 200 et
500m au moment de son opacité maximale
2 = visibilité horizontale inférieure à 200m.
- (8) : Ces mesures ont été faites en terrain dégagé à
10 m de hauteur.
- (9) : W = ouest.
E = est.
S = sud.
N = nord.
VR = variable.
- (10) : X = jour où il y a eu un orage.



5.8. Données concernant les paramètres abiotiques

La figure **81** donne l'évolution de la température et de la concentration en oxygène dissous de l'eau de la Meuse à Tailfer pendant la période d'étude des passes à poissons de la Meuse moyenne supérieure. On constate que la concentration en O_2 dissous ^{varie} entre 14 et 6,5 mg/litre, ses valeurs les plus basses ont été atteintes en juin 87, les plus élevées en mars 88. La température monte surtout en mars et avril et atteint des valeurs maximales entre mai et août (20 à 22°C). La température a une influence directe sur la concentration en O_2 maximale que peut contenir l'eau, cette influence se fait suivant une relation de type

$$O_2 \text{ sat.} = \frac{-475}{33+T} \quad \text{où } T \text{ est la température en } ^\circ\text{C} \text{ et } O_2 \text{ sat.}$$

la concentration maximale en O_2 dans l'eau en mg/l. Les graphiques montrent par ailleurs que la concentration en O_2 varie souvent de manière indépendante de la température, indiquant par là l'importance des phénomènes non-physiques sur la concentration en O_2 (respiration, photosynthèse) qui se traduisent par des valeurs de saturation variables, la saturation étant le rapport de la concentration mesurée à la valeur de saturation. Ceci montre la nécessité de visualiser l'évolution des 2 paramètres séparément.

La figure **92** donne l'évolution du débit de la Meuse moyenne supérieure pendant la période d'étude. On voit que le débit est susceptible de varier beaucoup en peu de temps, c'est surtout le cas de mai à juillet 1987 ; en mai et juin 1988, on voit par contre que le débit s'est maintenu à des valeurs plus stables, inférieures à $200\text{m}^3/\text{sec}$. En 1988, c'est surtout en avril que le débit connaît une décroissance spectaculaire.

Les conditions météorologiques pendant la période des captures ont été reprises dans les tableaux **46** et **47** ; ces valeurs ont été enregistrées à des stations qui se trouvaient le plus près possible du site de l'étude.

La figure **83** représente les phases de la lune pendant la période étudiée.

TABLEAU 48

Importance relative en pourcents des différentes espèces de poissons dans les différentes échelles à poissons de la Meuse et dans le cours de la Meuse. (pour le nombre d'individus)

ESPECES	RHEOPHILIE (I)	MEUSE (2) pêche élec- trique	MONSIN (3) DENIL	LITH (4) ECLUSE	BELFELD (5) DENIL	LINNE (6) DENIL	LIXHE (7) passe à bas- sins	AMPSIN (8) DENIL	AMPSIN (9) DENIL	LA PLANTIE (10) Bassins	TAILFER (11) Bassins	RIVIERE (12) Bassins
Brème	-/+	} 1,4	0	10,1	0,5	2,2	-	-	56,0	0,5	0,11	1,8
brème bordelière	-/+		0	1,0	0,2	-	0	0	3,1	6,4	0,45	1,6
Tanche	- -	5,1	0	-	0,1	0,1	0,1	-	0,5	0	0	0;1
Carassin	- -	0,03	0	0	0,2	0,7	0	0	0	0	0	0
Carpe	- -	0,3	0	-	-	0	0	-	0	0	0	0
Loche d'étang	?	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Grémille	-	0,08	0	14,8	-	0	0	-	0	3,9	0	0,2
Gardon	o	26,5	-	35,2	19,7	27,7	8,3	49,4	4,3	15,3	25,0	27,4
Rotengle	-/+	3,1	0	-	-	-	0	0	0,8	-	0	0
Ablette	+/-	47,3	3,8	4,9	49,1	58,4	13,7	19,9	2,4	20,0	15,4	31,3
Perche	o	2,4	-	25,1	7,7	4,1	1,7	-	0	4,2	0,7	2,6
Sandre	-	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
Brochet	-	0,13	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous-total pour la zone à brème		86,31	4,0	91,2	77,5	93,2	23,9	69,9	67,1	50,3	45,7	65

TABLEAU 48 (suite)

ESPECES	RHEOPHILIE (I)	MEUSE (2) pêche élec- trique	MONSIN (3) DENIL	LITH (4) ECLUSE	BELFELD (5) DENIL	LINNE (6) DENIL	LIXHE (7) passe à bas- sins	AMPSIN (8) DENIL	AMPSIN (9) DENIL	LA PLANTE (10) Bassins	TAILFER (11) Bassins	RIVIERE (12) Bassins
Barbeau	++	0,08	38	-	-	-	0,2	-	0,4	0,2	0	0
Hotu	++	0,8	44,8	-	-	-	0,1	-	0,1	0,1	0,1	0,1
Chevesne	+/-	1,6	0	-	-	0,1	0,1	6,9	24	47,1	45,7	32,2
Chabot	?	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Vandoise	+/-	0,19	0	0	0,1	-	0,2	-	0	0,3	0,36	0,7
Ide mélanote	+	0	0	-	0	-	0	0	0,2	0	-	0
Goujon	+/-	4,1	7,1	-	-	-	3,0	24,1	0	-	0	-
Truite de rivière	++	-	0	-	-	-	0	0	0	0,4	0,15	-
truite arc-en-ciel	++	0,01	3,3	-	0	0	0,2	-	0	0	-	0
Sous-total pour la zone à barbeau		6,78	93,2	-	0,1	0,1	3,8	31,5	24,7	48,1	46,2	33
Anguille	?	6,4	2,9	7,9	22,2	6,2	72,4	-	8,2	1,2	0,1	1,5
Lamproie marine	++	0	0	0,1	-	-	0	0	0	0	0	0
Eperlan	?	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0
Truite de mer	++	0,06	0	0,1	-	-	0	0	0	0	0	0
Sous-total pour les poissons amphibi- tiques		6,46	2,9	8,1	22,2	6,2	72,4	-	8,2	1,2	0,1	1,5
TOTAL		99,55	99,9	99,3	99,8	99,5	100	100	100	99,6	92,1	99,5

Légende tableau 48

- (I): -- : espèce nettement rhéophobe.
 - : espèce rhéophobe.
 -/+: espèce euryèce à tendance rhéophobe.
 o : espèce euryèce.
 +/-: espèce euryèce à tendance rhéophile.
 + : espèce rhéophile.
 ++ : espèce nettement rhéophile.
- (2) : résultats des pêches électriques effectuées en Meuse de 1971 à 1982 par l'équipe de l'université de Liège.
- (3) : 47 jours de contrôle de la passe DENIL du 30 juin 1933 au 27 juin 1934.
- (4) : contrôle de l'écluse pour les années 1975 à 1979 (sauf 1977), tous les jours même pendant la nuit.
- (5) : contrôle de l'échelle DENIL pour les années 1977 à 1979, tous les jours même pendant la nuit, fait avec une nasse en amont de l'échelle.
- (6) : contrôle de l'échelle DENIL pour les années 1976 à 1979, tous les jours même pendant la nuit, fait avec une nasse en amont de l'échelle.
- (7) : 8 jours de contrôle de la passe à bassins, du 6 mai au 30 juillet 1982.
- (8) : contrôle de l'échelle DENIL par pose d'une nasse en continu de 1963 à 1965.
- (9) : contrôle du 15 avril au 13 juin 1988 par comptage de ce que l'on trouve dans les bassins de repos DENIL.
- (10): 24 contrôles par vidange de l'échelle à bassins, de mai à août 1987 et de mars à juin 1988.
- (II): 18 contrôles par vidange de l'échelle à bassins de mars à juin 1988.
- (12): II contrôles par vidange de l'échelle à bassins de mars à juin 1988.

6. D I S C U S S I O N

6.1. Les espèces en présence

Le tableau **21** nous indique les espèces que l'on a prises mais pas nécessairement les espèces réellement présentes. Certaines ont pu éventuellement échapper à notre attention.

L'importance de la proportion occupée par les chevesnes, les gardons et les ablettes est encore sous-estimée par rapport à la réalité si l'on tient compte du fait que très souvent les ablettes n'ont pas été toutes comptées. Cela se passait lorsqu'elles étaient trop nombreuses. La moindre proportion occupée par ces trois espèces à La Plante est à mettre en relation avec la plus grande abondance des brèmes bordelières dans cette passe.

Les barbeaux et les rotengles qui ne sont pris qu'à La Plante, ainsi que les brèmes bordelières et les perches qui sont prises dans une proportion plus importante à cette passe, indiquent peut-être que ces trois espèces trouvent des frayères adéquates dans le bief compris entre La Plante et Tailfer. Ces frayères leur feraient défaut en aval de La Plante. Une autre hypothèse serait que les populations des différents biefs diffèrent l'un de l'autre ou que les échelles exercent une sélectivité, laissant remonter facilement certaines espèces et plus difficilement d'autres.

L'ide mélanote est toujours présente (en petite quantité cependant) dans la Meuse moyenne supérieure comme le supposait PHILIPPART et VRANKEN (1983).

Le tableau **48** montre que les poissons classés comme caractéristiques de la zone à barbeau par de GROOT et MUYRES (1980) sont des poissons classés comme plutôt rhéophiles ou nettement rhéophiles par PELZ (1985) (1^{er} colonne). Ceux considérés comme caractéristiques de la zone à brème sont tous euryèces ou rhéophobes, exceptée l'ablette qui est considérée comme plutôt rhéophile. Les deux classements sont donc compatibles en théorie car la zone à brème possède une vitesse de courant plus faible.

Si l'on compare l'importance relative des différentes espèces de poissons pour les différentes échelles pour lesquelles

nous avons des données (Tableau 48), la chose qui apparaît de la manière la plus évidente est la diminution spectaculaire des hotus et des barbeaux dans les échelles depuis les années 1930 (3e colonne du tableau 48.) jusqu'à nos jours. La disparition virtuelle des hotus, des barbeaux et des truites arc-en-ciel dans les échelles s'explique soit par le changement des conditions d'écoulement dans la Meuse qui créa une situation défavorable à ces trois espèces particulièrement rhéophiles soit par une mauvaise attractivité des échelles actuelles.

Une troisième constatation est que la part occupée par les poissons de la zone à brème est inférieure dans le cas des passes de la Meuse moyenne supérieure (La Plante, Tailfer, Rivière) par rapport à celle de la Meuse inférieure (Lith, Belfeld, Linne). Cette différence est cependant certainement moindre que ce que l'on pourrait croire au premier abord à cause de la sous-estimation du nombre des ablettes par notre méthode (où on ne compte pas tous les poissons) par rapport à la méthode utilisée aux Pays-Bas (utilisation d'une nasse). Il est toutefois indéniable que les poissons de la zone à brème occupe une place privilégiée dans les passes de la Meuse néerlandaise. L'augmentation de la part occupée par les poissons de la zone à barbeau dans le cas des passes de la Meuse moyenne supérieure est essentiellement imputable à l'importance que prennent les chevesnes à cet endroit.

Si l'on compare ce qu'on a trouvé dans les passes de la Meuse moyenne supérieure avec les résultats des captures des poissons dans la Meuse grâce aux pêches électriques de 1971 à 1982 (2e colonne du tableau 48), on constate que la proportion occupée par les brèmes communes, les brèmes bordelières, les grémilles, les gardons, les perches et les barbeaux sont du même ordre de grandeur dans les deux cas.

Les tanches, les rotengles, les ablettes, les hotus, les goujons et les anguilles sont retrouvés dans les passes en un nombre inférieur à

Fam. Cyprinidae (Karpfenfische)

1. Abramis brama (L. 1758) Brachsen (Common Bream, Brême)	+	+	+	+	+
2. Alburnus alburnus (L. 1758) Ukelei, Laube (Bleak, Ablette)	+	+	+	+	+
3. Barbus barbus (L. 1758) Barbe (Barbel, Barbeau fluviatile)	+	+	-	+	-
4. Blicca bjoerkna (L. 1758) Güster, Blicke (White bream, Brême bordelière)	+	+	+	+	+
5. Carassius auratus (L. 1758) Giebel (-,-)	-	+	+	+	-
6. Carassius carassius (L. 1758) Karausche (Crucian carp, Carassin)	-	+	+	+	-
7. Chondrostoma nasus (L. 1758) Nase (-, Hotu)	+	+	+	+	-
8. Cyprinus carpio L. 1758 Karpfen (Common carp, Carpe)	-	+	-	-	+
9. Gobio gobio (L. 1758) Grundling (Gudgeon, Goujon)	+	+	+	+	+
10. Leuciscus cephalus (L. 1758) Döbel, Aitel (Chub, Chevaine)	+	+	+	+	+
11. Leuciscus idus (L. 1758) Aland (Orfe, Ide mélanote)	+	+	-	-	-
12. Leuciscus leuciscus (L. 1758) Hasel (Dace, Vandoise)	+	+	+	+	+
13. Rutilus rutilus (L. 1758) Plötze, Rotaugé (Roach, Gardon)	+	+	+	+	+
14. Scardinius erythrophthalmus (L. 1758) Rotfeder (Rudd, Rotengle)	+	+	+	+	-
15. Tinca tinca (L. 1758) Schleie (Tench, Tanche)	+	+	+	+	+
16. Vimba vimba (L. 1758) Zährte, Russnase (-,-)	-	+	-	-	-

Fam. Percidae (Barsche)

17. Gymnocephalus cernua (L. 1758) Kaulbarsch (Ruffe, Grémille)	-	-	-	+	+
18. Perca fluviatilis L. 1758 Flußbarsch (Perch, Perche fluviatile)	+	+	+	+	+

Fam. Centrarchidae (Sonnenfische)

19. Lepomis gibbosus (L. 1758) Sonnenbarsch (Pumpkinseed, Perche soleil)	-	-	-	+	-
---	---	---	---	---	---

Fam. Salmonidae (Lachse)

20. Salmo gairdneri RICHARDSON 1836 Regenbogenforelle (Rainbow trout, Truite arc-en-ciel)	+	+	+	+	+
21. Salmo trutta trutta L. 1758 Meerforelle (Sea trout, Truite de mer)	+	+	+	+	-
22. Salmo trutta fario L. 1758 Bachforelle (Brown trout, Truite de rivière)	+	+	+	+	+
23. Salvelinus fontinalis (MITCHELL 1815) Bachsaibling (Brook trout, Saumon de fontaine)	+	+	-	-	-

Fam. Thymallidae (Äschen)

24. Thymallus thymallus (L. 1758) Äsche (Grayling, Ombre commun)	-	+	-	-	-
---	---	---	---	---	---

Fam. Anguillidae (Aale)

25. Anguilla anguilla (L. 1758) Aal (Eel, Anguille)	+	+	+	+	+
--	---	---	---	---	---

Fam. Petromyzonidae (Neunaugen)

26. Petromyzon marinus L. 1758 Meerneunauge (Sea lamprey, Lamproie marine)	-	+	-	-	-
---	---	---	---	---	---

Tableau 49 : Présence des espèces de poissons dans les passes de Coblence, Lehmen et Müden
(d'après PELZ, 1985).

Les espèces sont classées dans un ordre correspondant à leur importance relative dans le nombre total (en 1982 et 1983, pour les trois passes à poissons).

	1982			1983	
	KOBLENZ 18.5.-22.9.	LEHMEN 16.6.-23.9.	MÜDEN 18.5.-19.5. 25.5.-30.5. 8.6.- 7.8.	KOBLENZ 9.3.- 7.4. 20.4.-26.5. 3.6.- 7.8.	LEHMEN 21.6.- 7.8.
n	34179	2033	1707	148697	3583
ette	74,2 %	72,4 %	55,7 %	88,4 %	70,9 %
don	17,6 %	15,0 %	26,6 %	8,8 %	14,7 %
jon	3,3 %	2,1 %	1,8 %	0,9 %	4,6 %
me bordelière	0,6 %	0,3 %	9,3 %	0,3 %	2,0 %
vesne	0,4 %	6,4 %	1,6 %	0,6 %	0,6 %
che fluviatile	1,2 %	0,1 %	2,5 %	0,2 %	2,5 %
me	2,0 %	0,8 %	0,5 %	0,4 %	2,4 %
doise	0,2 %	1,7 %	1,4 %	0,1 %	0,4 %
ite de rivière	0,2 %	0,4 %	0,1 %	0,1 %	0,2 %
ite arc-en-ciel	0,1 %	0,2 %	0,2 %	<0,1 %	0,4 %
che	0,1 %	0,2 %	0,2 %	<0,1 %	0,4 %
u	0,1 %	0,1 %	-	0,1 %	0,1 %
beau fluviatile	0,1 %	-	-	<0,1 %	<0,1 %
ite de mer	0,1 %	<0,1 %	-	<0,1 %	0,1 %
ers (1)	<0,1 %	0,2 %	0,1 %	<0,1 %	0,2 %

nombre total de poissons capturés

: divers = ide mélanote, gibèle, carassin, carpe, rotengle, *Vimba vimba* (L. 1758), grémille, perche-soleil, ombre commun, saumon de fontaine, lamproie marine.

bleau 50 : Proportion occupée par les différentes espèces de poissons dans les captures des passes de la Moselle à Coblenze, Lehmen et Müden (exprimée en %, sans considérer les anguilles)(d'après PELZ, 1985).

ce qu'on aurait pu s'attendre par rapport à ce qui se trouve dans les biefs de la Meuse (2e colonne du tableau 48.); ceci en admettant que les pêches électriques reflètent assez fidèlement les proportions relatives occupées réellement par chaque espèce dans la Meuse. En ce qui concerne les ablettes et les anguilles, on pourrait incriminer un comptage incomplet de ce qu'il y avait dans les passes ou bien le passage des anguilles pendant la nuit (elles échappent ainsi à nos relevés qui se font presque exclusivement le jour). Dans la cas des tanches, l'explication se trouve vraisemblablement dans leur comportement rhéophobique assez marqué ; en fait, les tanches qui ont été prises en aval de l'échelle (dans le couloir d'accès) doivent être considérées comme exceptionnelles en cet endroit tumultueux (DENIL, 1936) et rien ne prouve qu'elles avaient l'intention de remonter. Celà n'est pourtant pas improbable puisque nous avons vu qu'elles sont capables de remonter des échelles DENIL. Le manque relatif de rotengles, de hotus et de goujons dans les passes de la Meuse moyenne supérieure doit trouver son explication dans la moindre abondance de ces espèces dans cette partie de la Meuse ou dans une mauvaise attractivité de l'entrée des échelles. En effet, la vitesse de l'eau n'est que de 0,3 m/sec. à la sortie des passes (GILLET, com. pers.), vitesse insuffisante que pour être bien perçue par les poissons lorsqu'on sait que l'eau en aval du barrage est encore tumultueuse au niveau de l'entrée de la passe. Remarquons que les grémilles et les brèmes bordelières sont les seules espèces plutôt rhéophobes à se trouver en proportion non négligeable dans les passes de la Meuse. Les chevesnes se trouvent en très grande proportion dans les passes par rapport à ce que l'on peut trouver en Meuse où dans les autres échelles ; une explication possible serait que ces poissons en particulier ne trouvent pas de frayères adéquates en aval des passes étudiées ou qu'ils soient plus abondants en amont de Namur qu'ailleurs dans la Meuse.

Les passes de Coblenze, Lehmen et Müden sont trois passes à bassins disposées sur la Moselle les unes après les autres (PELZ, 1985). 26 espèces y remontent (Tableau 49'). On constate que la proportion des ablettes est nettement plus grande que dans notre étude (Tableau 50) : entre 55 et 75 % à la place de entre 21 et 31 %. Si la part occupée par les ablettes dans les populations totales

était identique dans les deux rivières, ceci confirmerait l'importance de la sous-estimation du nombre des ablettes lors de nos comptages. En Moselle, les ablettes et les gardons constituent la plus grosse partie du nombre total de poissons trouvés dans les passes et ceci sans que l'on doive y ajouter les chevesnes. Nous voyons même que les goujons et les brèmes bordelières sont plus nombreux que les chevesnes. Ceci tend à confirmer la proportion élevée des chevesnes dans les échelles que nous avons étudiées. Remarquons que ce fait n'est pas forcément dû à un nombre trop élevé de chevesnes mais peut-être à cause d'un passage anormalement faible pour toutes les autres espèces.

La proportion occupée par les espèces les plus communes est comparable pour les trois passes de la Moselle, ce qui est similaire à ce que nous trouvons et montre ainsi que dans des biefs proches l'un de l'autre, la composition des populations d'animaux qui empruntent les passes se modifie peu au niveau de l'année malgré une grande variabilité si on considère chacune des passes pour un jour particulier.

Le nombre d'animaux capturés varie d'une passe à une autre, pour une même date, d'une manière assez aléatoire. Cependant, ce nombre est plutôt inférieur pour Rivière, une explication possible serait une remontée des poissons vers le Burnot, affluent se situant en aval de Rivière, ou un arrêt des poissons pour frayer dans le bief en aval de Rivière. Une autre hypothèse serait que l'échelle, dépourvue de dispositif de dégrillage en amont, est plus fréquemment encombrée par des détritiques; la sortie d'eau est peut-être trop peu attractive à cause d'un mauvais réglage du débit.

6.2. Evolution du nombre de captures pour chaque espèce suivant la période

En résumé, on peut localiser en avril-mai la période principale de fréquentation pour les brèmes bordelières, les gardons, les grémilles ; les perches sont présentes surtout d'avril à juin, les ablettes de mars à juillet avec un nombre plus important d'avril à juin. Les brèmes communes et les chevesnes sont

TABLEAU 51.

Tableau comparatif des périodes de remontée principales dans les passes de la Meuse moyenne supérieure (La Plante, Tailfer, Rivière), la passe de la Moselle à Coblenze et la période de reproduction en Europe.

(D'après BRYLINSKA et DLUGOSZ, 1970; HANCOCK et alii, 1975; HUBERT, 1983; LEFEBVRE, 1983; LEROY, 1987; MAITLAND, 1977; MANN, 1974; MATTHEUS et alii, 1981; PELZ, 1985; PHILIPPART, 1981; PONCIN et PHILIPPART, 1986)

(1): données spécifiques pour la Meuse.

(2): sauf en ce qui concerne les données pour la Meuse, les périodes indiquées recouvrent la totalité de celles avancées par chaque auteur consulté.

* : données insuffisantes pour bien cerner la période.

ESPECE	PERIODE DE REMONTEE DANS LES PASSES DE LA MEUSE	PERIODE DE REMONTEE DANS LES PASSES DE DE LA MOSELLE	PERIODE DE REPRO- DUCTION (2)
Brème commune	mai à juin	mi-mai à août	mai à juillet
Ablette	mars à juillet	avril à août	avril à juillet
Barbeau	(avril à mai?)*	mai	mai à juillet
Brème bordelière	avril à mai	avril à mi-juillet	mai à juillet
Chevesne	mai à juillet	avril à août	avril à juin
Vandoise	(mars à juin?)*	avril à août	mars à mai
Gardon	avril à mai	avril à août	mai (I)
Perche fluviatile	avril à juin	juin à août	avril à mai (I)

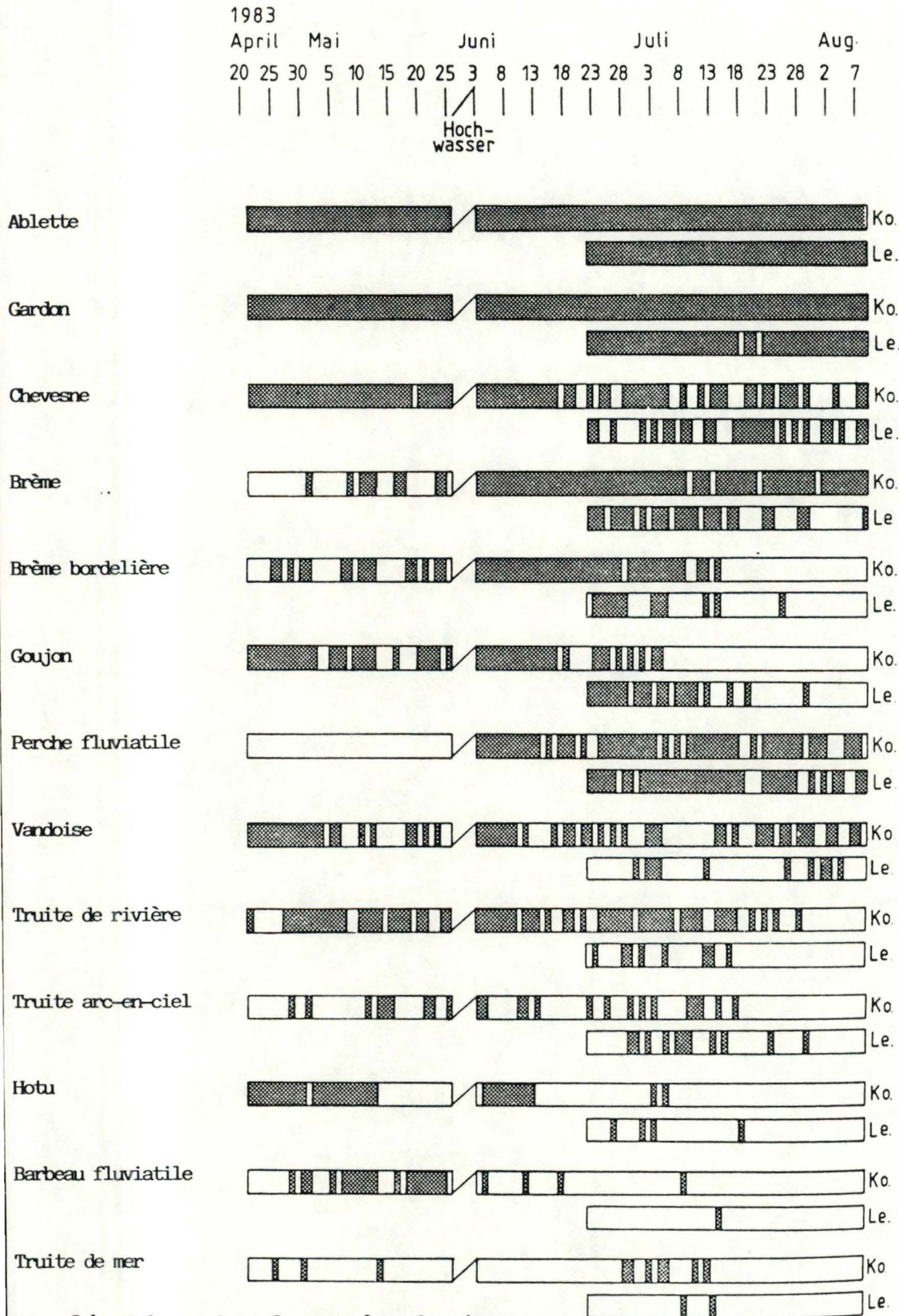


Fig. 84 : Présence de quelques espèces de poissons pour les journées comprises entre le 20/04/1983 et le 8/08/1983 dans les passes de Coblenz (Ko.) et de Lehmen (Le.) (sans tenir compte du nombre d'individus) (d'après PELZ, 1985).

là surtout en mai et juin.

Il est intéressant de comparer nos résultats avec ceux obtenus en Moselle par PELZ (1985) (Fig. 84.) et de comparer les périodes de fréquentation des échelles avec celles de reproduction (avancées par différents auteurs) des différentes espèces.

Le tableau 51 fait cette comparaison. Remarquons que la remontée n'a été étudiée que de mars à août pour la Meuse et de avril à août pour la Moselle, on ignore si la remontée se fait durant les mois postérieurs. La remontée n'a pas été étudiée durant les mêmes années pour les deux fleuves.

Par rapport à la Meuse, la remontée en Moselle se poursuit nettement plus tard dans la saison pour les gardons, les brèmes communes, les brèmes bordelières, les perches et les vandoises. Elle commence nettement plus tard pour les perches.

La période de reproduction indiquée au tableau 51. a été établie grâce à des références qui, la plupart du temps, ne concernent pas la Meuse. Pour le gardon et la perche par contre, nous avons de pareilles indications. Nous pouvons dire que la remontée des gardons se fait un peu avant et pendant sa période de reproduction mais plus après ; le frai semble donc bien être la motivation essentielle des déplacements pour cette espèce et non pas la recherche de nourriture comme le prétendait DENIL (1938). Selon LEROY (1987), en 1986 et 1987, les perches sont prêtes à se reproduire dès le mois d'avril et la fraye est terminée avant début juin. Les premières perches relâchant des produits sexuels sont prises dans les échelles le 19 avril 1988, les derniers mâles spermiantes sont pris le 19 mai 1988. Des perches vidées sont encore repérées dans les échelles jusqu'au 20 juin 1988. Il y a donc une certaine correspondance dans les deux cas pour les périodes de maturité mais il apparaît aussi que les perches fréquentent les échelles après la période de reproduction. Remarquons que les perches prises le 11 avril à La Plante (Tab. 25,) sont moins localisées dans la partie aval de l'échelle que pour les dates de capture suivantes, indiquant vraisemblablement une motivation plus grande pour la remontée lors de la période précédant la reproduction. Par la suite les perches sont davantage situées dans la partie inférieure, indiquant soit une diminution de la motivation pour la remontée, soit une fréquentation des échelles dans le but de capturer des petits poissons en aval.

Tableau 52

Répartition du nombre de poissons capturés dans les différentes parties de l'échelle du barrage de La Plante (11/04/88 au 30/06/88 15 contrôles)

- ! : nombreuses alettes non comptées
 * : nombreux gardons non comptés
 " : nombreuses anguilles non comptées
 o : vidange incomplète
 x : pas de relevés à ce niveau
 + : présence (chiffre exact inconnu)
 a : vidange le matin
 b : vidange l'après-midi

Date	T (°C)	Partie inférieure	Partie moyenne	Partie supérieure	Total
11/04/88	9,9	58	22	1	81
18/04/88	13,1	138	110	69	317
25/04/88	12,7	26	0	4	30
2/05/88	14,3	151	19	29	199
9/05/88	15,7	1 270 *	81	48	1 399
19/05/88	18,3	81 o"	81	176	338
20/05/88(a)	-	x	25	21	46
20/05/88(b)	-	0	1	4	5
27/05/88	18,3	63 "	84	64	211
3/06/88	-	13 "	8 "	21	42
14/06/88	18,8	27 "	71	137	235
16/06/88	19,0	3 o	36	62	101
20/06/88	19,6	1 o	11	29	41
22/06/88	-	9 o!	33 !	43	85
30/06/88	19,6	x	2	2	4
Total		1 841	584	710	3 135

Tableau 53

Nombre de poissons capturés dans l'échelle du barrage de Rivière
du 11/04/88 au 30/06/88 (12 contrôles) suivant le niveau qu'ils
ont atteint dans l'échelle

entre () valeurs de la CIBE pour l'après-midi

* : nombreux gardons non comptés

o : vidange incomplète

! : nombreuses ablettes non comptées

x : pas de relevés à ce niveau

" : nombreuses anguilles non comptées

Date	T (°C)	Partie inférieure	Partie moyenne	Partie supérieure	Total
11/04/88	10,7	18	42	4	64
18/04/88	13,1	235	26	21	282
25/04/88	13,0	237	113 !*	63	413
2/05/88	14,9	11	10	8	29
9/05/88	16,3	13 !*o	41	32	86
18/05/88	(20)	83	161	41	285
20/05/88	17,0	x	7	2	9
27/05/88	18,0	71 "	142	15	228
3/06/88	-	7	1	2	10
14/06/88	19,3	25	45	11	81
20/06/88	20,1	1 o	1	4	6
30/06/88	20,5	x	6 "	9	15
Total		701	595	212	1 508

Tableau 54. Nombre de poissons capturés dans les 3 bassins de repos de l'échelle DENIL en rive gauche du barrage d'Ampsin -Neuville du 15/04 au 13/06 1988 (17 contrôles). (d'après PHILIPPART, com. pers.).

Date	T(°C)	inférieur	moyen	supérieur	Total
15/04	-	25	3	0	28
19/04	-	*63	4	1	*68
21/04	18,6	37	13	9	60
22/04	20,2	*43	23	7	*73
27/04	18,1	140	33	15	188
29/04	17,5	63	54	47	164
03/05	20,6	39	38	69	146
06/05	20,5	95	55	64	214
10/05	22,2	159	71	106	336
13/05	21,8	62	19	84	165
17/05	22,8	31	28	11	70
20/05	20,7	25	29	33	87
25/05	21,3	3	1	15	19
30/05	21,1	26	32	80	138
01/06	17,4	8	11	2	21
07/06	17,9	2	7	1	10
13/06	23,2	5	4	8	17
Nombre de poissons		826*	425	552	1803
Nombre d'espèces		10	11	9	11

* + nombreuses ablettes non comptées

6.3. Corrélation entre intensité de la remontée et paramètres abiotiques

Les tableaux **52** à **54** et **30** montrent qu'il n'existe pas de relations simples entre intensité de la remontée et température.

Si l'on constate, pour une seule échelle à une date donnée, l'abondance d'une espèce sans que ce ne soit le cas simultanément pour les deux autres échelles, on ne peut pas conclure à un pic dans l'intensité du passage (voir Tableaux **25** à **27**). Lorsqu'il y a 2 (ou mieux 3) échelles qui montrent simultanément qu'une espèce est principalement située au-dessus des paliers inférieurs, on est en droit de penser que les poissons remontent plus en ce moment. On peut alors tenter de déceler un rapport entre cette plus grande intensité de passage et les conditions abiotiques qui auraient pu la provoquer. Nous consulterons pour cela le tableau **47** et les figures **81**, **82** et **83** pour les dates où nous avons déterminé des correspondances dans l'intensité de remontée pour les différentes échelles :

- le 18 avril 1988 : on constate que la durée de l'insolation et le rayonnement direct ont augmenté par rapport aux jours précédents. On remarque aussi une diminution de la durée des précipitations. La température de l'eau est passée en l'espace de 4 jours de 10,5°C à 13,5°C. La concentration en O₂ est de 11,22 mg/l et le débit de 175 m³/sec. A cette date, il y a une remontée simultanée des gardons pour La Plante et Tailfer.

- le 25 avril 1988 : on remarque, par rapport aux jours précédents, une légère augmentation de la température de l'air. La concentration en O₂ dissous de l'eau est de 12,67 mg/l, sa température de 14°C et le débit de 160 m³/sec. Il y a une remontée simultanée des gardons à Tailfer et Rivière.

- le 9 mai 1988 : on constate qu'il y a eu, par rapport aux jours précédents, une légère augmentation de la température de l'air. Un orage a augmenté la durée et l'importance des précipitations. La température de l'eau était de 17°C. Sa concentration en O₂ dissous est passée en un jour de 9,87 à 11,85 mg/l. Le débit était de 115 m³/sec. Il y a une remontée simultanée des chevesnes pour les trois échelles.

- le 18 mai : on remarque une chute de la température de l'air, de la durée d'insolation, du rayonnement direct, de la concentration en O_2 de l'eau qui passe en un jour de 9,71 à 8,41 mg/l. Il y a eu un orage, la température de l'eau est de 20°C et le débit de 208 m³/sec. Il y a une remontée simultanée des chevesnes pour Tailfer et Rivière.

- le 27 mai : il y a eu une chute de la température de l'air, de l'insolation et du rayonnement direct. Il y a eu un orage qui a provoqué une très longue durée des précipitations. Le débit était de 108 m³/sec. Il y a une remontée simultanée des chevesnes pour les 3 échelles.

- le 14 juin : le temps était très ensoleillé et le ciel découvert (observations personnelles car pas encore de données de l'IRM). L'eau avait une température de 18,8°C et une concentration en O_2 dissous de 11,33 mg/l. Il y a une remontée simultanée des chevesnes pour les 3 échelles.

A partir de ces rapprochements, il est très difficile de montrer une quelconque influence des facteurs abiotiques sur la remontée des poissons. Le fait que les chevesnes remontaient beaucoup pendant des journées d'orage et de faible ensoleillement (le 9 mai, le 18 mai et le 27 mai) ne nous permet pas d'en tirer des relations de causalité (ou, tout au moins, des relations de causalité exclusives) car le 14 juin, la remontée était bonne aussi alors que le temps était très ensoleillé et pas du tout orageux.

Il apparaît qu'il n'y a pas de relations simples entre l'intensité de la remontée et les paramètres abiotiques.

MATTHEUWS et alii (1981) prétendent que les gardons fraient d'avril à juin lorsque la température de l'eau dépasse 15°C. De notre côté, on peut dire, à partir des tableaux **23** et **24** et de la figure **81**, que des gardons fréquentent les échelles de mai à août en 1987 quand la température était au moins de 14,5°C. En 1988, les premiers gardons sont pris le 11 mars en très faible quantité alors que la température ne fait pas 6°C. Les captures plus conséquentes du 11 avril sont effectuées alors que l'eau atteint 10°C. Le très grand nombre de gardons pris le 18 avril remontaient les échelles alors que l'eau n'atteignait que 13°C. Nous pouvons donc

supposer que si la migration des gardons se déclenche pour un seuil thermique donné, celui-ci est inférieur à celui nécessaire à l'accomplissement de la reproduction.

Pour SIERRA (1983), les ablettes fraient en mai-juin lorsque la température atteint 15°C. Suivant les conditions de l'environnement, la période peut s'étendre en avril et en juillet. Nous voyons que les ablettes sont déjà dans les passes le 18 avril et le 25 avril alors que la température de l'eau avoisine les 13°C. Le même phénomène énoncé pour les gardons existe très vraisemblablement chez les ablettes.

Pour DENIL (1938), l'anguille remonte en Meuse à partir de mi-juin quand la température atteint 19 à 23°C. Nous voyons pourtant que les anguilles fréquentent déjà les échelles le 20 mai et le 27 mai 1988 alors que la température de l'eau n'est respectivement que de 17 et 18°C. En 1987, les anguilles sont prises en juillet pendant des journées où la température de l'eau varie entre 15 et 16°C. Ces résultats ne contredisent pas forcément les propos de DENIL car on peut se demander dans quelle mesure les anguilles capturées dans les passes remontaient réellement. C'est d'autant moins probable que la plupart des relevés étaient faits le jour. Notons également que les températures enregistrées l'ont été à 8 h du matin et que les pêches ont été faites en pleine journée à un moment où l'eau a pu subir un léger réchauffement.

6.4. Evolution de la remontée au cours d'un cycle journalier

Le tableau **26** montre que par pêche électrique et vidange en 1988 à l'échelle de Tailfer, 152 ablettes ont été capturées le 18 avril, 77 le 25 avril, aucune le 2 mai et 52 le 9 mai.

Le tableau **28** montre que, par la nasse posée en amont de l'échelle, 17 ablettes ont été prises le 20 avril, 51 le 21 avril, 5 le 27 avril, 8 le 28 avril, 21 le 29 avril, 114 le 5 mai 1988. Un relevé par pêche électrique et vidange ne donne une idée que de ce qu'il y a dans la passe à un moment donné et d'autre part une nasse doit piéger tous les poissons sortant de la passe pendant 6 à 8 heures en pleine journée. Ainsi le nombre d'ablettes capturées, par rapport à ce que l'on pourrait s'attendre à voir passer, peut être considéré comme faible.

Tableau 55 (PELZ, 1985)

Nombre de chevesnes retrouvés dans les bassins par assèchement d'une passe à poissons en comparaison avec les prises effectuées par une nasse les jours précédents ou suivants

* : nombre estimé

- : nasse non posée

		Nombre de poissons		
		dans les bassins	dans la nasse	
			le jour précédent	le lendemain
Coblence	2/7/82	20	2	0
	23/9/82	19	1	4
	8/8/83	12	1	-
Lehmen	15/6/82	3	-	0
	23/9/82	25	3	-
	21/6/83	20	-	6
	8/8/83	20 *	0	-
Miden	23/7/82	48	1	1
	22/9/82	32	0	-

Trois explications peuvent être avancées :

- beaucoup d'ablettes refusent de rentrer dans la nasse et restent en aval de celle-ci ou encore redévalent la passe.

- les ablettes restent très longtemps dans l'échelle avant de la franchir.

- les variations dans l'intensité de la remontée sont telles que nous avons fait par hasard les essais de nasse pendant les journées de faible remontée. Nous constatons en effet que nous avons pris malgré tout 114 ablettes le 5 mai avec la nasse alors que nous n'avons rien pris le 2 mai par pêche électrique et vidange.

La seconde de ces explications est sans doute la plus acceptable. Le tableau **55** montre en effet que les prises de nasse sont toujours beaucoup plus faibles que les prises effectuées par assèchement des bassins. Cette constatation a été faite par PELZ (1985) pour les chevesnes avec des poses de nasse pendant 24 heures. La nasse avait une entrée très large et toutes les espèces de poissons empruntant les passes de la Moselle s'y engagent sans difficulté. La première explication que nous avons avancée semble donc moins plausible que les deux autres ou, tout du moins, insuffisante en elle-même.

Le tableau **28** indique aussi que l'intensité de la remontée est susceptible de varier fortement en peu de temps, comme le montre l'évolution le 5 mai entre 12 h et 13 h.

Les résultats du 25 avril 1988 (indiqués au tableau **30**) vont dans le même sens et permettent de se rendre compte que la remontée peut évoluer rapidement en une journée et que les gardons et les ablettes sont capables de remonter rapidement vers les paliers supérieurs.

Les résultats du tableau **29** montrent d'autre part que le temps de transit des chevesnes dans une échelle pendant la nuit et le crépuscule est très long. Il est même vraisemblable que les chevesnes et les hotus restent dans les échelles sans avancer pendant la nuit. Le manque d'énergie que manifeste les poissons lors des manipulations nocturnes constitue un indice supplémentaire. Quand aux ablettes, il est presque certain qu'elles ne se déplacent pas la nuit.

Le nombre de perches plus élevé que l'on trouve à La Plante, si on le compare aux nombres obtenus pour les mêmes dates dans les deux autres échelles, pourrait s'expliquer par une préférence pour cette espèce d'une remontée ou d'une chasse effectuée tôt dans la journée. La Plante est en effet l'échelle prospectée le plus tôt.

6.5. Ce que l'on trouve dans les passes pendant la nuit

Les anguilles n'ont pas été comptées avec précision mais il est indéniable qu'elles remontent plus pendant la nuit.

Les seules autres espèces capturées pendant la nuit sont les chevesnes, les ablettes et les hotus mais ces espèces ne semblent qu'y stationner. Rappelons que PELZ (1985) prétend que dans les passes de la Moselle, hormis les anguilles, seuls les chevesnes, les brèmes et les brèmes bordelières remontent un peu pendant la nuit.

6.6. La remontée effective des poissons dans les échelles

Pour interpréter les résultats sur la répartition des espèces dans les différentes parties de l'échelle, nous ferons les présupposés suivants:

- le nombre de poissons qui descendent l'échelle est négligeable par rapport à ceux qui la remontent. Signalons cependant qu'une pêche effectuée le 18 août 1988 montre de nombreux jeunes poissons d'une taille très petite (7 à 10 cm) dans les paliers supérieurs. Ces individus n'ont certainement pas pu remonter les échelles et montrent que la dévalaison est certainement un fait réel.

- une abondance de poissons dans la partie inférieure de l'échelle par rapport aux autres parties est l'indice d'une stagnation des poissons dans cette partie. Cet indice ne sera valable que si le nombre de poissons à l'échelle est suffisamment important et il ne sera décelable que si la prospection de la partie inférieure a été complète.

Nous pouvons avancer que les chevesnes, les vandoises et les gardons remontent sans difficultés les passes ; c'est probablement aussi le cas des barbeaux et des truites de rivière bien que le nombre d'individus capturés ne nous permette pas de tirer de pareilles conclusions.

Les brèmes communes, les brèmes bordelières, les ablettes, les perches, les anguilles et les grémilles auraient tendance à stagner en aval ; il en est vraisemblablement de même pour les tanches.

Toutes ces constatations ne changent pas pour Tailfer, lorsque la dénivellation est passée à 30 cm tous les deux bassins.

La vitesse de l'eau qui passe sur les échancrures est de 1,3 m par seconde ; elle rend donc le franchissement difficile pour le gardon, l'ablette, la brème commune, l'anguille et la perche et vraisemblablement impossible pour la tanche et le rotengle si l'on considère les vitesses de pointe de toutes ces espèces (Tableau 1). Ces espèces, excepté le gardon, se retrouvent effectivement surtout dans les paliers inférieurs. Les tanches et le rotengle ne se retrouvent en fait que dans cette partie inférieure. Les chevesnes, les hotus et les barbeaux sont les espèces rencontrées qui devraient présenter le moins de difficultés à vaincre la vitesse de l'eau car leur vitesse de pointe est très élevée. On constate en pratique que ces espèces se retrouvent beaucoup dans les paliers supérieurs.

Si les perches ont tendance à rester vers l'aval, ce n'est peut-être pas dû à un manque dans les capacités sportives ou dans la motivation mais plutôt au fait qu'elles attendent les proies^e potentielles qui se rassemblent en aval. Les perches consomment en effet des poissons, ceux-ci constituant 6,4 % du régime alimentaire ; il s'agit notamment d'ablettes, de chevesnes, de grémilles et de hotus (LEROY, 1987).

Remarquons que les truites de rivière couvertes de sangsues, les gardons atteints de bucéphalose, les poissons atteints de déformations à la nageoire caudale se montrent tous parfaitement capables de remonter les échelles car certains d'entre eux ont été repris dans les paliers supérieurs.

6.7. La taille des poissons remontant les échelles et leur vitesse de nage

6.7.1. La vitesse de nage en fonction de la longueur du poisson

Les plus petites tailles rencontrées dans les paliers supérieurs pour les différentes espèces (Tableau 35) ainsi que la

vitesse de l'eau sur les échancrures (1,3 m/sec.) nous permettent d'avoir une idée de la vitesse qu'un poisson peut affronter à plusieurs reprises pour atteindre les paliers supérieurs d'une échelle. Cette vitesse est exprimée en longueurs/sec. (L/sec.) et nous donne une idée de la performance sportive potentielle des différentes espèces indépendamment de leur longueur. Le calcul consiste à diviser la distance parcourue par l'eau en une seconde au niveau des échancrures par la longueur du poisson le plus petit retrouvé dans les paliers supérieurs.

Les résultats sont les suivants (exprimés en longueur/sec).

<u>Cyprinidés</u> : Brème commune	$= \frac{1\ 300}{269} = 4,83$ L/sec.
Spirilin	$= \frac{1\ 300}{214} = 10,5$ L/sec.
Ablette	$= \frac{1\ 300}{112} = 11,6$ L/sec.
Barbeau	$= \frac{1\ 300}{380} = 3,42$ L/sec.
Brème bordelière	$= \frac{1\ 300}{140} = 9,28$ L/sec.
Hotu	$= \frac{1\ 300}{175} = 7,43$ L/sec.
Chevesne	$= \frac{1\ 300}{117} = 11,1$ L/sec.
Vandoise	$= \frac{1\ 300}{133} = 9,77$ L/sec.
Gardon	$= \frac{1\ 300}{137} = 9,49$ L/sec.
<u>Percidés</u> : Grémille	$= \frac{1\ 300}{110} = 11,8$ L/sec.
Perche	$= \frac{1\ 300}{141} = 9,22$ L/sec.
<u>Salmonidés</u> : Truite arc-en-ciel	$= \frac{1\ 300}{155} = 8,39$ L/sec.
Truite de rivière	$= \frac{1\ 300}{144} = 9,03$ L/sec.

D'après WEBB (1975) les Salmonidés ont une vitesse de pointe de 6 à 13 L/sec. et une vitesse de croisière de 3 à 4 L/sec ; les autres familles ont une vitesse de pointe de 4 à 9 L/sec. et une vitesse de croisière de 2 à 3 L/sec.

On constate donc que les plus petits spécimens approchent ou dépassent les vitesses de pointe avancées par WEBB (1975) pour pouvoir franchir l'échelle.

La vitesse de pointe que peuvent réellement développer les poissons est en plus sous-estimée par plusieurs facteurs :

- le poisson doit nager à une vitesse supérieure à 1,3 m/sec. pour pouvoir avancer

- il n'est pas dit que des poissons plus petits ne soient pas capables de remonter un courant d'eau de cette vitesse. Plus le nombre de poissons mesurés est important, plus nous avons de probabilités de prendre en compte des individus des tailles les plus extrêmes et moins nous sous-estimons la vitesse de pointe des poissons empruntant la passe.

- les poissons ont certainement besoin d'avoir atteint un certain âge (et donc une certaine taille) avant de manifester leur désir de remonter les échelles. L'intensité de la motivation joue un rôle vraisemblablement essentiel et les poissons qui n'ont pas atteint la taille de première maturité pourraient peut-être se révéler capables de remonter le courant des échelles si la motivation ne leur faisait pas défaut.

La vitesse de pointe peut d'autre part être surestimée car la vitesse de l'eau n'est pas uniforme dans l'échancrure. Elle a été mesurée à un endroit où elle était maximale. Les poissons peuvent en outre profiter des décollements du jet d'eau passant par l'échancrure.

Les valeurs obtenues montrent des vitesses assez faibles pour les brèmes communes et les barbeaux ; ceci est dû à la grande taille des individus de ces espèces que l'on trouve dans les paliers supérieurs. Cette grande taille est peut-être causée, dans le cas des brèmes communes, par un arrêt des individus de plus petite taille puisque les individus de cette espèce qui se présentent en aval à l'entrée de la passe ont des tailles minimales moins importantes qu'en amont (Tableau 35). Nous avons vu que les brèmes éprouvaient de légères difficultés à remonter les échelles DENIL d'Ampsin ou les échelles à bassins que nous étudions. Mais d'autre part, les brèmes bordelières éprouvent également des difficultés à remonter en grand

spécifique

nombre dans les échelles or la vitesse de pointe minimale calculée est presque deux fois plus élevée dans leur cas. Deux explications peuvent être avancées pour expliquer ceci :

- la taille de première maturité des brèmes bordelières est plus faible (explication la plus probable)

- les brèmes bordelières ont réellement des possibilités de développer des vitesses (par rapport à leur taille) plus élevées que la brème (espèce qui lui est proche) mais toutes les deux sont également soumises à la fatigue et incapables de soutenir des efforts soutenus. DENIL (1936) prétend en effet que les brèmes et les brèmes bordelières sont pleines d'énergie mais sont incapables de fournir un effort prolongé. Nous n'avons malheureusement aucune donnée sur la taille des brèmes et des brèmes bordelières qui franchissent l'échelle DENIL à Ampsin.

des barbeaux

La taille minimale capturés dans la nasse posée par DENIL en amont de la passe d'Angleur était de 19 cm (Tableau 5). Nous pouvons donc dire que la taille des barbeaux qui peuvent être appelés à franchir les échelles est inférieure à celle que nous avons estimée puisque la taille minimale des barbeaux trouvés dans nos échelles (y compris dans les paliers inférieurs) est de 340 mm. L'explication réside sans doute dans le nombre de barbeaux considérés qui est de 5 dans notre cas et de 40 dans le cas d'Angleur. Les tailles plus petites observées dans le second cas sont peut-être dues à l'importance de l'échantillon étudié.

Remarque sur la distribution de fréquence de tailles des chevesnes : celles-ci présentent souvent deux pics, deux explications peuvent être avancées :

- chacun des pics correspond à la population de chaque sexe, un des deux sexes ayant une croissance plus rapide que l'autre et/ou atteignent la maturité et la motivation pour la remontée à un âge plus précoce. Cette hypothèse mérite peu d'être retenue si on considère l'énorme majorité des mâles pour cette espèce dans les échelles à poissons (Tableau 41.)

- chacun des pics correspond à un recrutement et donc à une classe d'âge différente.

6.7.2. Sélection de la taille d'aval en amont

Il semble que les petits spécimens des gardons aient des difficultés à franchir les échelles.

Il ne semble pas y avoir de sélection de la taille entre les parties inférieures et supérieures de l'échelle pour les chevesnes.

Le décalage de la classe modale de taille, pour les ablettes, entre les paliers inférieurs et supérieurs, est à prendre avec prudence en raison du fait que le nombre d'individus mesurés dans les paliers supérieurs est nettement moindre que dans les paliers inférieurs. L'allure de la distribution de fréquence ainsi obtenue à partir de l'échantillon considéré n'approche que d'une manière plus grossière la distribution de fréquence réelle de tous les poissons qui passent. C'est ce qui explique vraisemblablement les différences dans la direction du décalage de cette classe modale pour les différentes échelles : deux d'entre elles voient leurs distributions de fréquence décalées vers la gauche et une (Rivière) vers la droite. Cependant, quelles que soient les échelles, aucune ne présente de petites ablettes dans les paliers supérieurs. Cette dernière remarque est aussi valable pour les brèmes communes *et les gardons*, (Tableau 35). Ceci indique que les poissons de ces deux espèces ne sont vraisemblablement pas tous capables de franchir les échelles. Dans le cas des ablettes, il faut savoir que ces poissons sont prêts à se reproduire en Meuse dès qu'ils ont atteint la taille de 95 mm (SIERRA, 1983), or le tableau 35 nous révèle que des ablettes d'une taille inférieure à 110 mm n'ont jamais été reprises dans les parties supérieures des échelles alors qu'il y en avait dans la partie aval. Un certain nombre d'ablettes en état de se reproduire pourrait donc se révéler incapables de franchir les échelles.

6.8. Sexe des poissons capturés

6.8.1. Le sex-ratio

Dans notre étude beaucoup de poissons sont restés indéterminés quand à leur sexe et le sex-ratio calculé est sujet à de grandes imprécisions.

Toutes les brèmes bordelières sexées étaient des mâles (Tableau 36) mais le grand nombre de poissons de sexe indéterminé laisse présager que les femelles arrivent dans les échelles à un état de maturité moins avancé que les mâles ou tout au moins trop peu avancé que pour déjà libérer des oeufs par simple pression de l'abdomen (stade 4).

Le nombre de brèmes communes sexées est trop faible que pour pouvoir dire que leur sex-ratio diminue au fur et à mesure que la saison avance. Si c'était le cas, une explication possible est une remontée plus tardive des femelles et/ou un état de maturité retardé pour celle-ci (Tableau 37).

(Tableau 38)

Le sex-ratio des perches est environ égal à l'unité et subit des variations. Seuls quelques mâles sont sexés après le 9 mai, LEROY (1987) a pourtant remarqué que les mâles cessent d'être spermiantes à la même époque que les femelles cessent d'être ovulantes (stade 5 de la maturation correspondant à un état où les gonades sont vides). Elle a également déterminé que le sex-ratio pour la population globale des perches de la Meuse moyenne supérieure est de 0,96. LEROY (1987) remarque en outre que le sex-ratio est de 1,30 pour les individus qui n'ont pas dépassé l'âge de 3 ans et qu'il est de 0,41 pour les individus plus âgés. Le sex-ratio des individus empruntant les passes était de 1,10, cette valeur plus élevée que celle valable pour la population globale peut s'expliquer par une participation plus importante des jeunes individus lors de la remontée. Cette dernière hypothèse va dans le même sens que les constatations de DENIL (1938) qui prétend que les plus jeunes perches ont un goût pour l'effort plus marqué que chez les plus âgées.

Le sex-ratio des gardons est toujours largement supérieur à 1, quelle que soit la date de capture ; il est de 47,9 pour l'ensemble des poissons sexés. D'après les captures de gardons réalisées par MATTHEUWS et alii (1981), le sex-ratio des gardons en Meuse pourrait être estimé à 0,57. La différence dans les deux cas pourrait s'expliquer par une sélectivité de la méthode de capture utilisée par MATTHEUWS (pêche au filet maillant), par le grand nombre d'individus dont le sexe est resté indéterminé lors de notre étude (Tableau 39) et dans lequel se trouvent plus de femelles

ou encore par une maturité à un âge plus précoce chez les mâles que chez les femelles. MANN (1973) souligne en effet que l'âge de première maturité dans les rivières Frome et River est de 3 à 4 ans pour les mâles et de 4 à 5 ans pour les femelles, soit un an de moins pour les premiers que pour les secondes.

Le pourcentage des femelles chez les ablettes est toujours fortement minoritaire sauf le 20 mai où il atteint plus de 66 %. Le sex-ratio le plus fiable est celui du 20 juin car on a à la fois beaucoup d'individus et une proportion d'individus non-sexés faible. Il indique 76,9 % de mâles. Globalement, il y a 81,4 % de mâles dans les échelles. Signalons que MICHA et de MOFFARTS (1976) trouvent 55 % de mâles dans les populations d'ablettes de la Sambre. Pour les différents auteurs consultés par SIERRA (1983), le sex-ratio est plutôt à l'avantage des mâles sauf chez les individus âgés où les femelles sont davantage représentées.

La population sexée des grémilles et des chevesnes présente dans les échelles est fortement représentée par le sexe mâle. Cette constatation s'approche sans doute très fidèlement de la réalité dans le cas des chevesnes si l'on considère le faible nombre d'individus dont le sexage s'est révélé impossible (Tableau 41). Nous manquons de renseignements pour pouvoir faire des comparaisons avec ce qu'on trouve dans les biefs de la Meuse.

6.8.2. Rapport entre la taille des poissons et le sexe

Pour les chevesnes, les gardons et les perches, le fait que tous les mâles soient toujours plus petits que les femelles, quelle que soit la date peut trouver plusieurs explications :

- les mâles grandissent plus lentement que les femelles
- les femelles sont motivées pour la remontée à un âge plus avancé que les mâles
- le sex-ratio est plus élevé pour les classes d'âge jeune et diminue pour les classes d'âge plus élevées, si bien que même lorsque la croissance se fait au même rythme pour les deux sexes, la taille médiane pour le total des femelles est plus élevée que celle du total des mâles.

Pour les perches, les trois explications sont très plausibles, LEROY (1987) remarque en effet que les mâles de cette espèce présentent une croissance inférieure à celle des femelles. A 3 ans, la différence est de 11,4 mm et de 66,2 mm à 6 ans.

Remarque : L'âge de première maturité est de 3 ans chez les femelles (pour une longueur de 174 mm) et de 1 à 2 ans chez les mâles (pour une longueur de 110 mm). Enfin, le sex-ratio est de 1,30 pour les perches âgées de 3 ans ou moins et de 0,41 pour les individus plus jeunes.

Chez les gardons, les mâles sont matures à 3 ou 4 ans et les femelles à 4 ou 5 ans dans les rivières From et Stour (MANN, 1973). GILLET (1982) trouve qu'à 5 ans les gardons mâles sont plus petits de 13 mm en moyenne que les femelles soit une différence négligeable.

Chez les vandoises, poissons assez apparentés aux chevesnes, le sex-ratio est d'environ 1 mais il existe plus de femelles dans les groupes d'âges plus avancés, la maturité est atteinte dans les 2 sexes à 4 ans (MANN, 1974, PHILIPPART, 1981) et d'après MANN (1974) et HELLAWELL (1974), les mâles grandissent plus vite que les femelles.

6.9. Discussion sur le choix d'un type de passe idéal pour la Meuse moyenne supérieure

Le problème qui se pose dans ce cas est de trouver une passe qui soit fonctionnelle à la fois pour les salmonicoles et les cyprinicoles.

Nous allons dans un premier temps faire le point sur les passes à bassins déjà installées à La Plante, Tailfer et Rivière et dans ^{un} second point aborder les différents aspects à prendre en compte pour l'aménagement éventuel d'un autre dispositif de franchissement.

6.9.1. Les passes à bassins de La Plante, Tailfer et Rivière

Toutes ces passes occupent une position optimale sur la berge, une position en épingle à cheveux ne se justifie pas car au pied du barrage, les remous sont trop importants et les poissons ne s'y aventurent sans doute pas ou y sont désorientés.

La sortie d'eau de la passe est bien disposée obliquement par rapport au courant. Cependant, la vitesse de l'eau n'y est que de 0,3 m/sec. ce qui est trop faible par rapport aux valeurs de 1,0 m/sec. à 2,5 m/sec. préconisées par les spécialistes comme LARINIER (1987) ou JENS (1982). On pourrait remédier à ce désavantage en créant une petite chute d'eau par le relèvement du niveau d'eau en aval de l'échelle grâce à une petite cloison transversale, cette petite chute augmenterait notablement la vitesse de l'eau à la sortie et constituerait éventuellement un stimulus de saut pour certaines espèces. L'entrée de la passe pour les poissons se situe à un endroit où l'eau est encore assez tumultueuse et fatigue peut-être les animaux qui doivent s'y maintenir. Le couloir de sortie de l'eau possède un seuil localisé à une certaine hauteur du fond de la Meuse qui pourrait poser un problème d'attractivité pour certains poissons qui nagent surtout dans les endroits profonds comme les hotus et les barbeaux. Par contre, les ablettes, les chevesnes, les gardons nagent surtout en surface, du moins pendant la période de remontée (DENIL, 1938 ; HUBERT, 1986) et devraient rencontrer moins de difficultés pour percevoir l'échelle.

Ces passes à bassins étant à échancrures déversantes, elles ont l'avantage que leur débit n'est pas sensible aux marnages aval qui sont non négligeables pour les barrages étudiés. Cependant, la hauteur de la première chute en aval peut être affectée par de tels marnages. D'un autre côté, le débit dans l'échelle peut être plus ou moins réglé en fonction du marnage amont par des modifications dans la cote de déversement de la première échancrure grâce à l'ajout ou au retrait de planchettes de taille variable dans les glissières prévues à cet effet.

La vitesse de l'eau dans les échelles est maximale au niveau des échancrures où elle atteint 1,3 m/sec., cette vitesse est largement inférieure au maximum de 2,5 m/sec. préconisé par AITKEN et alii (1966) mais est tout de même élevée pour certaines espèces amenées à remonter ces passes (brème commune, anguille, perche, ablette, tanche, rotengle).

Le jet d'eau passant par l'échancrure est un jet de surface. La charge sur l'échancrure est de 25 cm, ce qui est suffisant pour assurer une profondeur de la lame d'eau où le poisson peut nager (LARINIER, 1977). L'échancrure, large de 35 cm, doit être suffisante pour assurer le passage de tous les poissons remontant actuellement mais serait insuffisante pour les grands migrateurs. On devrait dans ce cas l'élargir de 15 cm.

Il semble que le profil de l'écoulement de l'eau dans les bassins perturbe le comportement du poisson. En effet, à l'échelle de Rivière, des chevesnes et quelques gardons étaient morts échoués sur les bords de l'échelle, dans les goulottes à anguilles asséchées. Ils ont probablement sauté au dessus des cloisons latérales. Pour remédier à ce désavantage, il faudrait installer un grillage ou un muret au-dessus des côtés de l'échelle qui empêcherait les poissons de se propulser dans cette mauvaise direction et les ferait retomber automatiquement dans l'eau de l'échelle. Cet aménagement devrait être réalisé pour les autres échelles que celle de Rivière car le problème pourrait se rencontrer ailleurs.

Dans les échelles, nous n'avons pas remarquer d'endroits particulièrement contondants susceptibles de blesser les poissons.

Les bassins sont sujets à l'encombrement par les débris, la grille disposée en amont afin d'éviter cet inconvénient n'est pas efficace pour les détritus de petite taille. La passe de Rivière est même actuellement dépourvue de grille en amont. De grosses épaves encombrant parfois les échelles en y rentrant par l'aval (où un dispositif de protection n'est pas prévu) ; ceci se passe surtout en période de crue et un nettoyage consciencieux avant la période de remontée devrait suffire à pallier à ce désavantage.

Le nombre de bassins n'étant pas exagérément grand, un bassin de repos ne semble pas indispensable ; ceci d'autant plus que la pente de la passe n'est que de 7,5 %, soit inférieure à celle maximale de 10 % préconisée par JENS (1981) pour ce type d'échelle.

La longueur des bassins est de 1,95 m, or si l'on considère les critères de dimensionnement avancés par LARINIER (1987), nous voyons que pour une charge sur l'échancrure de 0,25 m (d), nous devons adopter une longueur de bassin comprise entre 1,75 m et 3,00 m (7 à 12 d) pour une largeur maximale respective de 1,17 m à 2,00 m. Le tirant d'eau (0,75 m) est suffisant pour les espèces en présence mais devrait être approfondi de 0,25 à 0,45 m pour permettre à de grands migrateurs de sauter.

Le volume d'eau des bassins est de $2,19 \text{ m}^3$ (si l'on excepte les petits bassins d'amont construits par erreur et qui seront éliminés incessamment). Pour maintenir une puissance dissipée de 140 à 210 watts/ m^3 , il faudrait que le débit ne dépasse pas 200 l/sec. à 300 l/sec. D'autre part, la période de pleine remontée des poissons dans la Meuse (avril à juin) correspond à un débit moyen supérieur à $170 \text{ m}^3/\text{sec.}$, du moins pour les deux années étudiées ($178 \text{ m}^3/\text{sec.}$ en 1987, $172 \text{ m}^3/\text{sec.}$ en 1988). On voit que le débit maximal admissible dans la passe n'atteint pas 0,1 % du débit total du fleuve et est donc trop faible. En admettant que l'on puisse abattre une cloison transversale sur deux pour obtenir des bassins d'une longueur de 3,90 m et d'un volume de $4,4 \text{ m}^3$ avec des dénivellations entre bassins de 30 cm, le débit maximal admissible dans la passe permettant de conserver les mêmes valeurs de

puissance dissipée sera toujours le même. Le seul moyen de pouvoir faire transiter plus d'eau dans la passe en gardant la même pente et la même puissance dissipée serait d'agrandir le volume des bassins par une augmentation de la largeur ou de la hauteur de ces bassins. Une augmentation de la largeur se ferait aux dépens des goulottes à anguilles. Par contre, une augmentation de la hauteur des bassins serait sans doute techniquement plus réalisable et donnerait en plus une profondeur d'appel plus importante pour les grands sauteurs comme le saumon atlantique. En adoptant une hauteur de tirant d'eau minimale de 1,10 m à la place de 0,75 m, le volume du bassin serait porté à $6,6 \text{ m}^3$; si la hauteur de dénivellation entre deux bassins est maintenue identique, on obtiendra un débit minimal admissible qui va de 300 l/sec. à 450 l/sec. Cette valeur toujours faible pourrait être rachetée en partie par un plus gros débit d'admission dans une goulotte à anguilles qui serait transformée ainsi en adducteur d'eau.

La dénivellation entre deux bassins est de 15 cm, ce qui est acceptable même pour les Cyprinidés; toutefois, nous avons montré à Tailfer qu'un passage de cette dénivellation à 30 cm ne pose pas de problèmes majeurs.

Notons que le fonctionnement des échelles ne peut pas être assuré lorsque les barrages sont levés et qu'il n'y a plus d'eau qui coule dans les passes. Ceci a lieu lorsque le débit de la Meuse moyenne supérieure dépasse $700 \text{ m}^3/\text{sec.}$, c'était le cas pendant 3 jours de janvier 87, 2 jours de mars 87, 2 jours d'octobre 87, 6 jours de janvier 88, 16 jours de février 88, 2 jours de mars 88 et 2 jours d'avril 88. Ces journées sont situées en général en dehors de la pleine période de remontée de la plupart des espèces et ne constituent pas un ennui majeur. Lorsqu'il y a un débit du fleuve trop important bien qu'inférieur à $700 \text{ m}^3/\text{sec.}$, les barrages commencent à se lever et provoquent déjà une baisse du niveau d'eau en amont. Cette baisse impliquera un manque d'eau dans l'échelle qui pourrait nuire à son attractivité.

Les planchettes en bois qui servent à délimiter le niveau de l'échancrure n'arrivent pas toujours au fond de la fente latérale à glissière destinée à les recevoir. Ceci a pour effet de former un courant d'eau aspiré en dessous des planchettes et qui

emporte parfois avec lui des poissons assez aplatis comme les brèmes qui se retrouvent coincés en dessous des planches et périssent ainsi. Il faut avoir le plus grand soin lors de chaque manipulation, de remettre les planchettes en place jusqu'au fond afin d'éviter ce genre de désagrément.

Les anguilles n'ont jamais été retrouvées dans les goulottes qui souvent ne sont pas alimentées en eau. Ceci ne signifie pas pour autant qu'elles n'y passent jamais. On peut cependant imaginer d'installer des planches avec les touffes de poils telles qu'elles sont illustrées à la figure 52 ou une brosse destinée à servir de support aux anguilles. On pourra aussi y mettre des fagots de branches ou des bûches qui devront être fixées et ne pas être entraînées vers l'aval. Ces aménagements présenteraient cependant l'inconvénient d'augmenter les travaux d'entretien. Il faudra de toute façon assurer un écoulement régulier de l'eau dans ces goulottes pour qu'elles puissent assurer leur fonction.

6.9.2. Autres dispositifs de franchissement possibles

Les dispositifs destinés aux petits obstacles ou appelés à être installés sur un radier de barrage sont inadéquats à cause de la conception du barrage et de son importance ; on peut écarter l'idée des passes-lits, des brèches, des rigoles en entonnoir, des passes en écharpe.

Un prébarrage est impensable dans notre cas si l'on considère la largeur de la Meuse à cet endroit et l'ampleur des dénivellations à racheter qui sont de l'ordre de 2 m.

Nous avons trop peu d'espace sur les rives pour installer une passe rustique.

Les passes à orifices noyés ou les passes mixtes ne seraient pas adéquates non plus car les orifices seront vite obstrués par les débris.

Une passe à fente verticale n'est recommandable que dans le cas où le marnage amont est très important (LARINIER, 1983^b) ce qui n'est pas le cas pour les barrages qui nous concernent.

Une écluse à poissons ne vaut sans doute pas la peine d'être installée si l'on considère que l'on a affaire à des dénivellations de l'ordre de seulement 2 m. Il serait difficile de lui assurer une attractivité suffisante et elle pose de sérieux problèmes d'entretien. Elle pourrait tomber fréquemment en panne si elle était automatisée. Si par contre, elle n'est pas automatisée, il se posera le problème d'avoir du personnel pour l'actionner. Toutes ces remarques sont également valables pour un ascenseur.

Une passe DENIL pourrait se révéler avantageuse puisque la dénivellation à racheter est faible, elle serait vraisemblablement facile à intégrer dans les places occupées par les passes à bassins actuelles. Elle assurerait aussi une meilleure attractivité en aval que les passes à bassins (FULTON et alii, 1953) mais à condition qu'un guidage vers l'entrée soit bien effectué (SLATICK, 1975). Si l'on adoptait une pente de 20 %, cette échelle mesurerait à peine 10 m et il faudrait prévoir au maximum un bassin de repos (KATOPODIS, 1981 ; Mc LEOD et NEMENYI, 1940). 15 m est la longueur minimale à partir de laquelle les moins bons nageurs telle la carpe commencent à éprouver de la fatigue dans une échelle à ralentisseurs plans convenablement conçue (SLATICK et BASHAM, 1985). D'autre part, nous avons signalé que des tanches s'étaient montrées capables de remonter les trois volées de ralentisseurs de 8 m de long de l'échelle DENIL d'Ampsin. En fait, les gardons sont les seuls poissons qui, tout en remontant sans problème les échelles à bassins que nous avons étudiées, éprouvent des difficultés à remonter l'échelle DENIL d'Ampsin.

L'importance des marnages amont et aval constitue une contre-indication pour l'installation d'une telle échelle ; en effet, une variation de la cote de l'eau en aval risque de diminuer l'attractivité de la passe DENIL. Une variation du niveau de la cote du bief amont est encore plus gênante car le débit qui passe dans l'échelle doit être compris dans une certaine gamme pour que l'écoulement de l'eau soit compatible avec une remontée des poissons. Différentes modalités pourraient être imaginées pour remédier aux désavantages d'un marnage en amont : l'installation de déversoirs latéraux dans la partie supérieure de l'échelle assurant un retrait de l'excès de

débit, l'installation de clapets automatiques ne cédant que lorsque la pression de l'eau (et donc le niveau de la cote en amont) a atteint une valeur minimale, l'installation de deux entrées d'eau à des niveaux différents ou encore de deux échelles juxtaposées calées d'une manière différente . Une échelle à ralentisseurs latéraux de type PACHE conviendrait même lors de marnages en amont.

L'aspect le plus important à soulever ici est que les échelles DENIL risquent toujours de très mal fonctionner si leur installation n'est pas faite de manière correcte.

7. C O N C L U S I O N E T P E R S P E C T I V E S

De notre synthèse bibliographique, il se dégage que les différents types de passes à poissons possèdent généralement à la fois des avantages et des inconvénients. Les passes pour petits obstacles et les passes à anguilles apparaissent comme des cas particuliers. Les passes à bassins successifs peuvent s'adapter à beaucoup de situations et les échelles à ralentisseurs semblent efficaces mais difficiles à bien réaliser. Les écluses et les ascenseurs sont les systèmes les plus sophistiqués mais les plus délicats. Il est indispensable de tenir compte pour la conception d'une passe que les capacités de nage et de saut des poissons sont limitées, et que la position de l'entrée est très importante. Son attractivité l'est encore plus ; celle-ci dépend essentiellement de la vitesse de l'eau à la sortie et du débit consacré au fonctionnement de l'échelle.

Il apparaît que la Meuse voit la qualité de son eau s'améliorer ces dernières années, permettant d'envisager la restauration des poissons migrateurs ou autres. Celle-ci passera nécessairement par l'aménagement de passes à poissons fonctionnelles partout où des obstacles à leurs déplacements existent et justifie ainsi l'intérêt de notre travail.

La partie expérimentale constituait la seconde partie de notre travail.

Les passes à poissons de La Plante, Tailfer et Rivière, installées sur la Meuse moyenne supérieure abrite^{nt} au moins 22 des 38 espèces que compte la Meuse. La composition et les proportions des populations de poissons que l'on y trouve sont globalement fort comparables, bien que les variations d'un jour à l'autre soient importante et que la passe de La Plante comprenne plus de brèmes bordelières et de perches et soit la seule à contenir des barbeaux. La proportion occupée par les poissons de la zone à barbeaux est plus importante dans ces passes que dans celles qui se trouvent en aval, ceci étant principalement imputable à de grandes quantités de chevesnes. Ces derniers, avec les ablettes et les gardons

constituent la plus grosse part du contingent. La faible représentativité de certaines espèces pourrait être imputable à une mauvaise attractivité des échelles due notamment à la faible vitesse de l'eau à la sortie. La période de fréquentation des échelles coïncide plus ou moins avec la période de reproduction, elle peut débuter avant (comme chez les gardons) ou se continuer après (comme chez les perches).

La période de remontée, son intensité et la proportion des différentes espèces qui remontent varient pour la Meuse d'une année à l'autre et diffèrent de ce que l'on trouve en Moselle. Il semblerait que l'intensité et la vitesse de la remontée soient capables de varier considérablement d'un jour à l'autre et même au cours d'une seule journée. Nous n'avons pas pu mettre en évidence une corrélation entre l'intensité de la remontée et les conditions abiotiques. Les anguilles fréquentent les échelles surtout la nuit. D'autres poissons y sont trouvés en faible quantité à ce moment.

Les barbeaux, les chevesnes, les vandoises, les gardons, les truites de rivière remontent sans difficulté. Les brèmes communes, les brèmes bordelières, les ablettes, les perches, les anguilles et les grémilles tendent à rester en aval. Les plus petits poissons retrouvés en amont utilisent manifestement leurs capacités maximales de nage pour y parvenir. Les plus petites ablettes (dont certaines ablettes en état de se reproduire) et les plus petites brèmes communes se présentant en aval de l'échelle ne remontent pas.

Le sex-ratio des populations de poissons trouvés dans les échelles diffère vraisemblablement de celui que l'on trouverait pour les poissons des biefs de la Meuse. Les explications ne sont qu'hypothétiques.

Les mâles de gardons, perches et chevesnes semblent plus petits que les femelles.

Les passes actuelles pourraient être rendues plus fonctionnelles par divers petits aménagements concernant surtout une amélioration de l'attractivité de l'échelle par une augmentation du débit en transit et de la vitesse de l'eau à la sortie. Le remplacement de ces passes par des échelles DENIL est envisageable mais problématique.

Pour l'avenir, plusieurs orientations de recherches pourraient être envisagées afin d'avoir des informations plus complètes sur ce sujet :

- étude de la remontée effective des poissons grâce à des systèmes automatiques de comptage installés en amont (compteurs à résistivité, système vidéo), cette étude devrait être réalisée en continu pour l'année et pour chaque journée.

- étude de l'attractivité de l'échelle par un relâchage de poissons marqués en aval de celle-ci et estimation de la proportion des individus qui ont réussi à rentrer dans l'échelle.

- étudier la vitesse de remontée à différents moments de la journée et de la nuit.

- doser le lactate ou d'autres métabolites dans les tissus des poissons retrouvés en amont de l'échelle puis comparaison avec des poissons au repos pour estimer la fatigue et le stress et donc évaluer le "confort" des passes.

- tenter de déceler des indices concernant les motivations de la fréquentation des échelles : reproduction (examen des gonades), alimentation (examen du contenu stomacal des perches) ou autre.

- estimer la biomasse et les proportions relatives des espèces pour les populations s'abritant dans les biefs aval de chaque échelle afin de les comparer avec ce qu'on trouve dans les échelles.

- poursuivre des recherches sur le bon fonctionnement des autres échelles de la Meuse y compris des échelles DENIL, comparer celles-ci avec les échelles à bassins.

Liste des noms scientifiques et des noms vernaculaires correspondants pour les espèces de poissons dont il est question dans cet ouvrage

Nom français

Nom latin

Nom français	Nom latin
Lamproie marine	<u>Petromyzon marinus</u> Linné 1758
Lamproie de rivière	<u>Lampetra fluviatilis</u> (L. 1758)
Petite lamproie	<u>Lampetra planeri</u> (Bloch 1784)
?	<u>Lampetra tridentata</u> (?)
Esturgeon	<u>Acipenser sturio</u> L. 1758
Grande alose	<u>Alosa alosa</u> (L. 1758)
Alose feinte	<u>Alosa fallax</u> (Lacépède 1800)
Alose ?	<u>Alosa pseudoharengus</u> (?)
Gaspareau	<u>Alosa sapidissima</u> (Wilson 1811)
?	<u>Onchorhynchus gorbuscha</u> (Walbaum 1792)
?	<u>Onchorhynchus tshewytscha</u> (Walbaum 1792)
Saumon atlantique	<u>Salmo salar</u> L. 1758
Truite de mer	<u>Salmo trutta trutta</u> L. 1758
Truite de rivière	<u>Salmo trutta fario</u> L. 1758
Truite de lac	<u>Salmo trutta lacustris</u> L. 1758
Truite arc-en-ciel	<u>Salmo gairdneri</u> Richardson 1836
Saumon de fontaine	<u>Salvelinus fontinalis</u> (Mitchill 1815)
Corégones	<u>Corégonus</u> sp.
Ombre commun	<u>Thymallus thymallus</u> (L. 1758)
Eperlan	<u>Osmerus eperlanus</u> (L. 1758)
Brochet	<u>Esox lucius</u> L. 1758
Gardon	<u>Rutilus rutilus</u> (L. 1758)
Vandoise	<u>Leuciscus leuciscus</u> (L. 1758)
Chevesne	<u>Leuciscus cephalus</u> (L. 1758)
Ide mélanote	<u>Leuciscus idus</u> (L. 1758)
Vairon	<u>Phoxinus phoxinus</u> (L. 1758)
Rotengle	<u>Scardinius erythrophthalmus</u> (L. 1758)
Tanche	<u>Tinca tinca</u> (L. 1758)
Hotu	<u>Chondrostoma nasus</u> (L. 1758)
Goujon	<u>Gobio gobio</u> (L. 1758)
Barbeau	<u>Barbus barbus</u> (L. 1758)
Ablette	<u>Alburnus alburnus</u> (L. 1758)
Spirlin	<u>Alburnoïdes bipunctatus</u> (Bloch 1782)
Brème bordelière	<u>Blicca bjoerkna</u> (L. 1758)
Brème ou brème commune	<u>Abramis brama</u> (L. 1758)
? (en allemand: Zährte)	<u>Vimba vimba</u> (L. 1758)
Bouvière	<u>Rhodeus sericeus</u> (Bloch 1782)
Carassin *	<u>Carassius carassius</u> (L. 1758)
Poisson rouge	<u>Carassius auratus</u> (L. 1758)
Carpe	<u>Cyprinus carpio</u> L. 1758
Loche de rivière	<u>Cobitis taenia</u> L. 1758
Anguille	<u>Anguilla anguilla</u> L. 1758
Lote de rivière	<u>Lota lota</u> (L. 1758)
Epinoche	<u>Gasterosteus aculeatus</u> L. 1758
Perche de rivière	<u>Perca fluviatilis</u> L. 1758
Sandre	<u>Stizostedion lucioperca</u> (L. 1758)
Grémille	<u>Gymnocephalus cernua</u> (L. 1758)
Perche-soleil	<u>Lepomis gibbosus</u> (L. 1758)
Chabot	<u>Cottus gobio</u> L. 1758
? (en anglais: squawfish)	<u>Ptylocheilus oregonensis</u> (?)

* La gibèle est une forme allongée de cette espèce

8. BIBLIOGRAPHIE

AASERUDE. R. G, 1985

New concepts in fishladder design

Washington State University, Department of Civil and Environmental Engineering, 159 p.

AITKEN P. L, DICKERSON L. H, MENZIES W.J. M, 1966

Fish passes and screens at water power works

PROC. INSTN. CIV. ENGRS, n° 35 , 29 - 57.

ANON, 1942

Report on the Committee on Fish Passes

INSTN. CIV. ENGRS, London, 59 p.

ARNOLD G.P, 1974

Rheotropism in fishes

BIOL. REV. n° 49, 515 - 576 p.

BACHELIER L, 1953 a

Le franchissement par les poissons des barrages de prise d'eau existants

BULL. FR. DE. PISC. n° 168, jan.-mars 53, pp 101 - 108.

BACHELIER L, 1953 b

L'écluse à saumons du barrage de Leixlip sur la Liffey en Irlande

BULL. FR. DE. PISC. n° 168, pp 114 - 119

BACHELIER L, 1965

Réhabilitation des échelles à poissons DENIL

BULL. FR. PISCIC, n° 216, pp 101 - 108

BACHELIER L, 1968

Les aménagements pour les poissons migrateurs

BULL. TECH. INF. MINIST. AGRIC. n° 228, pp 323 - 338

BEACH M.H, 1984

Fish pass design - criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fish in rivers

FISHERIES RESEARCH TECHNICAL REPORT, n° 78, 46 p.

BELL M. C, 1973 - 1984

Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria

US Army Corps of Engineers, North Pacific Division, Portland, Oregon, V + 290 p.

BLAXTER J.H.S, 1969

Swimming speeds of fish

FAO. FISH. REP., vol. 2, n° 62, pp 69 - 100.

BOISNEAU P, MENNESSON C, BAGLINIERE J.L, 1985

Observations sur l'activité de migration de la grande alose
Alosa alosa L. en Loire (France)

Hydrobiologia 128, pp 277 - 284 pp

BONNYMAN G.A, 1958

Hydro-électric Engineering Practice : Chapter XXIV : Fishery Requirements

Blackie and Son Limitel, London, pp 1126 - 1156.

BORLEE M.C, 1988

Evolution historique récente de la Meuse belge : interventions humaines et modifications de l'écosystème

Facultés de Namur. Faculté des sciences. Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de licencié en sciences biologiques, 112 p.

BRAWN V.M, 1979

Efficiency of an estuarine fishway for the passage of salmon
(Salmo salar L.)

MANUSCR. REP. FISH. MAR. SERV. (CAN.) n° 1523, 16 P.

BRETT J. R, HOLLAND M, ALDERDICE D.F, 1958

The effect of temperature on the cruising speed of young sockeye and coho salmon

J. FISH. RES. BOARD. CAN., n° 15, pp 587 - 605.

BRILINSKA M et DLUGOSZ M, 1970

Development of the ovaries of bream (Abramis brama L.) in the year cycle

ROCZNIKI NAUK ROLNICZYCH, Tom 92 - H - 1 pp 7 - 25

CASTONGUAY M, FITZGERALD G. J, and COTE Y, 1982

Life history and movements of amdromous brock charr,

Salvelinus fontinalis in the St Jean River, Gaspé, Québec

J.C.Z. vol. 60 - III - 1982, pp 3084 - 3091.

CLAY C.H, 1961

Design of fishways and other fish facilities
(Departement of fisheries of Canada)
Queen's Printer, Ottawa, 301 p.

COLLINS G.B, 1976

Effects of dams on Pacific salmon and steelhead trout
MARINE FISHERIES REVIEW, vol 38, n° 11, pp 39 - 46

COMITTEE ON FISH PASSES, 1942

Report of the Committee on Fish Passes
The institution of Civil Engineers,?, 63 p.

DECKER L.F, 1967

Fishways in Maine
Maine Department of Inland Fisheries and Game, Augusta (Maine), 47 p.

DEELDER C.L, 1958

Modern fish passes in the Netherlands
PROGVE FISH. CULT., vol 4, n° 20, pp 151 - 155

DEELDER C.L. et VAN DRIMMELEN E.D. 1960

The decline of the fish stocks in the Netherland's sections of the
rivers Rhine and Meuse
UICN, 7ème réunion technique, Athènes sept. 1958, thème I, vol. IV,
185 - 170.

de GROOT A. T. et MUYRES W, 1980

Visserijkundige waarnemingen vispassages 1975 tot en met 1979
VISSERIJ, 33 Jhrg, n° 7/8, blz 446 - 461.

de KERCKHOVE B, 1988

Les rejets domestiques et industriels
Actes du Colloque : "L'impact de l'homme sur l'écosystème Meuse
(Namur, 3 - 4 novembre 1987)
Presses universitaires de Namur, 1988, (sous presse).

DELVINGT W, 1988

La gestion piscicole
Actes du Colloque : "L'impact de l'homme sur l'écosystème Meuse
(Namur 3 - 4 novembre 1987)
Presses universitaires de Namur, 1988 (sous presse).

DENIL G, 1935

Le contrôle des échelles à poissons du barrage de Monsin et celui de quelques échelles apparentées

Ch. Bulens, Bruxelles, 30 p.

DENIL G, 1936

Le barrage d'Angleur et le contrôle de ces échelles à poissons (Société centrale pour la protection de la pêche fluviale)

Ch. Bulens, Bruxelles, 30 p.

DENIL G, 1938

La mécanique du poisson de rivière

Goemare, Bruxelles, 395 p.

DESCY J.-P., 1987

Cours d'écologie des eaux douces, partim. végétal (2de licence zoologie) FNDP

inédit. 103 p.

DESCY J.P, 1988

Conséquences sur la flore

Actes du Colloque : L'impact de l'homme sur l'écosystème Meuse (Namur 3 - 4 novembre 1987)

Presses universitaires de Namur, 1988, (sous presse).

DOMINY C.L, 1971

Evaluation of a pool and weirs fishway for passage of alewives (Alosa pseudoharengus) at White Rock, Gaspereau River, Nova Scotia
PROGR. REP, n° 3, 22 p.

DOMINY C.L, 1973

Effect of entrance-pool weir elevation and fish density on passage of Alewives (Alosa pseudoharengus) in a Pool and Weir Fisway
TRANS. AM. FISH. SOC. n° 2, pp 398 - 404.

EBEL W.J, ?

Review of effects of environmental degradation on the freshwater stages of anadromous fish

Habitat modification and freshwater fisheries, pp 62 - 79.

FRIES G. et TESCH F.W, 1965

Aufenthalt der Fische im Bereich von Stauwehren

SCHWEIZ Z. HYDROL. 27 : 257 - 272.

FRISCHHOLZE, 1924

Anlage und Betrieb von Fischpässen

HANDBUCH DER BINNEN FISCHEREI MITTELLEUROPAS, vol VI, Lief 1,
pp 1 - 137 n° 1 - 3.

FULTON A.A, 1952

Civil Engineering aspects of hydro-electric development in Scotland
PROC. INSTN. CIV. ENGRS, n° 1, pp 248 - 301.

FULTON L.A, GANGMARK H.A. et BAIR S.H, 1953

Trial of Denil-type fish ladder en Pacific salmon

US Fish and Wildlife Service

Special Scientific Report, Fisheries - n° 99, 16 p.

GILLET A, 1988

Conséquences sur la faune

Actes du Colloque : "L'impact de l'homme sur l'écosystème Meuse"
(Namur: 3 - 4 novembre 1987)

Presses universitaires de Namur, 1988, (sous presse).

GORDON R.N, CROUTER R.A. NELSON J.S, 1960

The Fish facilities at the Whitehorse Rapids Power Development,
YUKON Territory

CAN. FISH. CULT., n° 27, pp 43 - 56.

GROUPEMENT D'ANTONY (Division qualité des eaux, pêche et pisciculture),
1979

Conception des passes à poissons

CTGREF - Informations techniques, cahier 34, juin 1979.

HANCOCK R.S, JONES J.W, SHAW R, 1976

A preliminary report on the spawning behaviour and nature of
sexual selection in the barbel, Barbus barbus (L.)

J. FISH. BIOL. (1976) 9, 21 - 28.

HASLER A.D et WHITNEY L.V, 1946

A combination photoelectric light meter and fish detector

J. WILDL. MANAGE. n° 10: pp 175 - 177.

HELLAWELL J.M, 1974

The ecology of populations of dace, Leuciscus leuciscus (L.) from
two tributaries of the River Wye, Herefordshire, England

FRESHWAT. BIOL. 1974, Volum 4, pp 577 - 604.

HILDEBRAND S.G, BELL M.C, RICHEY E.P, ANDERSON J.J. et
PARKHURST Z.E, 1980

Analysis of environmental issues related to small scale hydroelectric
development II : Design considerations for passing fish upstream
around dams

Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM - 7396, Oak Ridge, Tennessee
XII + 71 p.

HOUARD H, 1981

Barrage de Lixhe . L'échelle à poissons

FRANC PECHEUR, n° 103, pp 6 - 7.

HUBERT F, 1983

L'ablette

La pêche en rivière de l'ablette à la truite

Editions DE VECCHI pp 7 - 13.

HUBERT F. 1986

La pêche en eau douce

Dargaud, Bourges, 79 p.

HUNTSMAN A.G., 1934

Factors influencing return of salmon from the Sea

TRANS. AM. FISH. SOC. n° 64, pp 351 - 355

INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS, 1942

Report of the committee on fish-passes

The Institution Research Committee, London, England, 59 p.

JENS G, 1958

Für und wider Fischpass, Strömungstechnische und Fischversuche
an Fischpassmodellen

ALLG. FISCH - ZTG., vol 83 n° 22, pp 430 - 433.

JENS G, 1981

Funktion, Bau und Betrieb von Fischpässen. Richtlinien für die
Anlegung von Fischtreppe an Stauanlagen

ARB. DTSCH. FISCH. - VERB., n° 32, 27 p.

JENS G, 1982

Der Bau von Fischwegen : Fischtreppe, Aalleitern und Fischschleusen

Parey (Berlin), Hamburg, 92 p.

JENS G, 1983

Aufstiegsversuche in Fischpassmodellen

ZEITSCHRIFT FUR DIE BINNEN FISCHEREI, Jahrgang 33, nummer 2, pp 9 - 11.

JEUNIAUX C, DEVILLERS P, JACOB J. P, LEDANT J.P, LIBOIS R,
PARENT G.H, PHILIPPART J.C, RUWET J. C, THOME J. P, THOME M,
VRANKEN M, 1983

Animaux en danger en Wallonie

Fondation Roi Baudoin et Ministère de la région wallonne pour l'eau,
l'environnement et la vie rurale,

JONES D.R, KICENIUK J.W. and BAMFURD O.S, 1974

Evaluation of the swimming performance of several fish species
from the Mackenzie River

Journal of the Fisheries Research Board of Canada n° 31 pp 1641 - 1647.

KATOPODIS C, ROBINSON P.R. et SUTHERLAND B.G, 1978

A study of model and prototype culvert baffling for fish passage
CAN. FISH. MAR. SERV. TECH. REP. 828 : v + 78 p.

KATOPODIS C, 1981

Considerations in the design of fishways for freshwater species
Proc. 5th Canadian Hydrotechnical Conférence, Fredericton
N.B. pp 857 - 878.

KATOPODIS C, 1985

Drainage design considerations for fish passage
Proc. 3rd Annual Western Provincial Conférence, Agricultural Land
Drainage,
November 20 - 22, 1984, Manitoba Water Resources Branch,
Winnipeg : pp 347 - 376.

KELSO B.W, NORTHCOTE T.G, WEHRHAHN C.F, 1980

Genetic and environmental aspects of the response to water current
by rainbow trout (Salmo gairdneri) originating from inlet and
outlet streams of two fakes

JOURNAL CANADIEN DE ZOOLOGIE, n° 59 - 2, pp 2177 - 2185.

KIPPER Z.M. et MILEIKO I.V. 1967

Fishways in Hydro-developments of the USSR
U.S Department of the Interiore, Washington, 57 p.

KREITMANN L, 1931

Les passes à poissons

VII CONGRES INTERNATIONAL D'AQUICULTURE ET DE PECHE, Paris, 7 p.

KREITMANN L, 1932

La vitesse de nage des poissons

BULL. FR. PISCIC. n° 53, pp 145 - 180

n° 54, pp 186 - 197

KREITMANN L, 1933

Etude hydraulique des passes à poissons

BULL. FR. PISCIC. n° 65, pp 121 - 130

LACHADENEDE B, 1931

Les échelles à poissons du système "DENIL" sur la Meuse navigable en Hollande et en Belgique

BULL. FR. PISCIC., n° 31, pp 185 - 194.

LACHADENEDE B, 1958

Les Gaves, les saumons, les échelles

BULL, FR. DE. PISCICULTURE, n° 190.

LARINIER M, 1977

Les passes à poissons

Groupement d'Antony du CTGREF, division Qualité des eaux, pêche et pisciculture ; Paris, 136 p.

LARINIER M, 1978

Etude du fonctionnement d'une passe à poissons à ralentisseurs plans

BULL.FR. PISC., n° 271, pp 40 - 54.

LARINIER M, 1983 a

Laissez-les remonter. Les "passes à poissons" pour migrateurs

ADOUR GARONNE REV. EAR MIDI ATL., vol 27, Nov. 1983, pp 5 - 10

LARINIER M, 1983 b

Guide pour la conception des dispositifs de franchissement des barrages pour les poissons migrateurs

BULL. FR. PISC., numéro spécial, pp 1 - 39.

LARINIER M, 1987

Les passes à poissons : méthodes et techniques générales
LA HOUILLE BLANCHE n° 1/2 - pp 51 - 57.

LARINIER M, TRIVELLADO D, 1987

Etude sur modèle réduit de la passe à poissons du barrage de Bergerac
sur la Dordogne
LA HOUILLE BLANCHE, n° 1 et 2, pp 135 - 142.

LARRIEU M, 1941

De l'efficacité des échelles ou passes à saumons
BULL.FR. PISCIC., n° 123, pp 5 - 9.

LAYZER J. B, 1979

Transportation of adult american shad past dams on the Connecticut
river, Massachussets, 1973 - 76
THE PROGRESSIVE FISH - CULTURIST, vol 41, n° 1, pp 7 - 9.

LEFEBVRE D, 1983

Etude de la croissance du gardon (Rutilus rutilus (L.) en amont
et en aval de la centrale nucléaire de Tihange : influence des
rejets thermiques
Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de licencié en
sciences
Faculté des sciences, Université Catholique de Louvain, 122 p.

LEGLIZE L, 1988

Conséquences sur la qualité de l'eau : l'eutrophisation
Actes du Colloque : L'impact de l'homme sur l'écosystème Meuse
(Namur : 3 - 4 novembre 1987). Presses universitaires de Namur (sous presse)

LEROY M, 1987

Etude de la biologie de la perche (Perca fluviatilis L.) et de son
régime alimentaire
Facultés de Namur. Faculté des sciences. Mémoire présenté en vue de
l'obtention du grade de licencié en sciences biologiques, 81 p.

* LITAUDON A, 1984

Observations préliminaires sur le franchissement du seuil de
St-Laurent des eaux (Loire) par l'alose (Alosa alosa)
Diplôme Agron. approfondie, Section Halieutique ENSA Rennes 1, 63 p.

* LIBBY (voir page 257).

LIBBY D. A, 1981

Difference in sex ratios of the anadromous alewife,
Alosa pseudoharengus, between the top and bottom of a fishway
at Damariskotta Lake, Maine
Fishery Bulletin : vol. 79, n° 1, 1981.

LONG C. W, 1959

Passage of salmonids through a darkened fishway
United States Fish and Wildlife Service. Special Scientific Report -
Fisheries n° 300, Washington, D.C, 9 p.

MAES L, 1898

Notes sur la pêche fluviale et maritime en Belgique
Imprimerie scientifique Ch. Bulens, Bruxelles, 295 p.

MAGNAN A, 1929

Les caractéristiques géométriques et physiques des poissons
Paris, 1929

MAITLAND P.S, 1977

Poissons des lacs et rivières d'Europe
Elsevier Séquoia, Bruxelles, 255 p.

MALEVANCHIK B.S, 1969

A floating rig for the collection and transport of fish from one
level of a hydroscheme to the next
GIDROTEKH. STROIT., août 1969, n° 8, pp 29 - 33

MANN K.H, 1973

Observations on the age, growth, reproduction and food of the roach,
Rutilus rutilus (L.) in two rivers in Southern England.
J. FISH. BIOL. 5, 707 - 736 pp

MANN R.H.K, 1974

Observations on the age, growth, reproduction and food of the dace,
Leuciscus leuciscus (L.), in two rivers in southern England
J. FISH. BIOL. (1974) 6, 237 - 253.

MARTIN J.D, 1984

Atlantic salmon and alewife passage through a pool and weir
fishway of the Madaguadavic River, New Brunswick (Canada), during 1983
CAN. MANUSCR. REP. FISH. AQUAT. SCI. O., vol III, n° 11, 1776 p.

MATTHEEUS A, GENIN M, DETOLLENAERE E, MICHA J.C, 1981

Etude de la reproduction du gardon (Rutilus rutilus L.) et des effets d'une élévation provoquée de la température en Meuse sur cette reproduction

HYDROBIOLOGIA 85, 271 - 282 (1981).

Mc KINNON G.A. et HNYTKA F.N., 1985

Fish passage assessment of culverts constructed to simulate stream conditions on Liard River tributaries

CANADIAN TECHNICAL REPORT OF FISHERIES AND AQUATIC SCIENCES, n° 1255, 121 p.

Mc LEOD A.M, NEMENYI P, 1940 - 1941

An investigation of fishways

BULL. IOWA ST. UNIV., AMES, IOWA, n° 24, pp 1 - 72.

MEALLAIN S.O, 1951

Fish pass at Leixlip Dam

J. DEP. AGRIC. IRE., vol XLVII, pp 134 - 141.

MEYER - WAARDEN P.F, HALSBAN E. et HALSBAN J, 1975

Einführung in die Elektrofischerei

Schriften der Bunderforschungsanstalt für Fischerei 7, Berlin, 292 p.

MICHA J.C. et RUWET R, 1970

La pêche électrique en rivière et ses utilisations dans la région liégeoise

Les naturalistes belges, t. 51 - 6, pp 299 - 306.

MICHA J.C. et de MOFFARTS E, 1976

Les poissons de la Sambre belge

Butenners, Bruxelles, pp 337 - 452 + V.

MICHA J.C., 1985

Obstacles physiques à la remontée du saumon atlantique dans le bassin mosan en Belgique

Compte-rendu du colloque : "Réintroduction du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse"

publié par le Ministère de la région wallonne, pp 69 à 102.

MICHA J.C, 1987 a

Cours d'écologie des eaux douces, partim. animale (2e licence en zoologie , FNDP)

inédit. 247 p

MICHA J.C, 1987 b

Cours de pollution des eaux (2e licence zoologie, FNDP)
inédit

MICHA, 1988

Présentation des objectifs du Colloque; Actes du Colloque :
"L'impact de l'homme sur l'écosystème Meuse (Namur, 3 - 4
novembre 1987)

Presse universitaire de Namur, 1988, (sous presse).

MICHEL B, NADEAU R, 1965

Passe migratoire favorisant la montée continue du poisson
HOUILLE BLANCHE, n° 6, pp 545 - 554.

MITCHELL C, 1984

Home grown fish pass helps eels get by
FRESHWATER CATCH, spring 1984.

MITCHELL C, 1986

More progress on native fish passes
FRESHWATER CATCH n° 30, summer 1986.

MORRIS H.M, 1968

Hydraulics of energy dissipation in steep, rough channels.

Bulletin 19

Research Division : Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg,
Virginia, 108 p.

MOTTLEY C. Mc C, 1933

The spawning migration of rainbow trout
TRANS. AM. FISH. SOC., n° 63, pp 80 - 84.

MUUS B.J. et DAHLSTROM P, 1967

Guide des poissons d'eau douce et pêche
Europas Ferskvandsfisk, GEC Gads Forlag, Copenhague, 1967.

PAULICK G.J, DE LACY A.C., 1957

Swimming abilities of upstream migrant silver salmon, sockeye
salmon and steelhead et several water velocities
COLL. FISH. TECH. REP. n° 44, 40 p.

PELZ G.R, 1985

Fischbewegungen über verschiedenartige Fischpässe am Beispiel der
Mosel

Courier Forschungsinstitut Senckenberg, 76; Frankfurt; 190 p.

PENTELOW F.T.K, 1961

A test of a new type of fish pass

SALM. TROUT. MAG. mai 1961, pp 78 - 84.

PHILIPPART J. C, 1981

Ecologie d'une population de vandoises, Leuciscus leuciscus (L.) dans la rivière Ourthe (bassin de la Meuse, Belgique)

ANNLS LIMNOL. 17 (1) 1981 : 41 - 62.

PHILIPPART J.C. et VRANKEN M, 1983

Animaux menacés en Wallonie - Protégeons nos poissons

Editions DUCULOT, Gembloux, 206 p.

PHILIPPART J.C., 1985

Histoire des salmonidés migrateurs dans le bassin de la Meuse
Compte-rendu du colloque : "Réintroduction du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse"

Publié par le Ministère de la région wallonne, pp 5 - 47.

PHILIPPART J.C, 1987

Etudes des possibilités de réintroduction et de restauration démographique du saumon de l'Atlantique dans l'axe Meuse-Ourthe
2. Identification des principaux problèmes actuels

Rapport à la Commission provinciale de Liège du Fonds piscicole, Université de Liège, Service d'Ethologie, Unité de recherches piscicoles.

PHILIPPART J.C, 1988

La restauration de la population piscicole

Actes du Colloque : "L'impact de l'homme sur l'écosystème Meuse (Namur : 3 - 4 novembre 1987)

Presse universitaire de Namur, 1988, sous presse.

PHILIPPART J.C, GILLET A, MICHA J.C, 1988

Fish and their environment in large european river ecosystems :
The river Meuse

Sciences de l'eau, 7 (1), pp 115 - 154.

PONCIN P. et PHILIPPART J.C, 1986

Inhibiting effect of a decreasing photoperiod on the sexual maturation of captive Barbus barbus (L.), (PISCES : Cyprinidae) at a constant 20° temperature

Abstracts of the 9th Conference (Physiological Adaptation to Environment) of the European Society for Comparative Physiology and Biochemistry held in Strasbourg, France, August 31 - September 3, 1986.

PRYCE-TANNATT T.E, 1937

Fish passes in connection with obstructions in salmon rivers
Edward Arnold and C° , London, 108 p.

RAJARATNAM N, ASCE M, KATOPODIS C, 1984

Hydraulics of Denil fishways

J. HYDRAUL. ENG. vol. 110, n° 9, pp 1219 - 1233.

RAJARATNAM N, KATOPODIS C et MAINALI A, 1987

Pool and weir fishways (Technical Report WRE 87-1)

Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton: 48 p.

RAVERET - WATTEL M.C, 1894

Les poissons migrateurs et les échelles à saumons

BULL. SOC. NATN. ACCLIM. FR., ?, 118p.

RICHKUS W.A, 1974

Factor influencing the seasonal and daily patterns of alewife
(Alosa pseudoharengus L.) migration in a Rhode Island River

J. FISH. RES. Bd CAN. 31 : 1485 - 1497.

RIMMER D.M, SAUNDERS R.L. et PAIM U, 1984

Effects of temperature and season on the position holding performance
of juvenile Atlantic salmon (Salmo salar L.)

JOURNAL CANADIEN DE ZOOLOGIE, n° 63 - 1, pp 92 - 95.

ROCKWELL J. et CHUR S.P, 1959

An underwater observation chamber

PROG. FISCH - CULT, pp 131 - 154.

SAKOWICZ S. et ZARNECKI S, 1954

"Pool passes - Biological Aspects in Their Construction"

ROCZNIKI NAUK ROLNICZYCH, Warsaró, Poland, 69, Series D5, 171 p.

SALLERON J.L, 1988

La maîtrise du phénomène d'eutrophisation

Actes du Colloque : "L'impact de l'homme sur l'écosystème Meuse"
(Namur : 3 - 4 novembre 1987)

Presses universitaires de Namur, 1988, (sous presse).

SCHIEMENZ F, 1959 a

Für die Fischtrepfen

Die Weser, vol. 33, n° 12, pp 168 - 170.

SCHIEMENZ F, 1959 b

Das Schwimmen der Fische in Fischtreppen und die günstigste Gestalt der Durchlässe und Becken in den Fischtreppen

ZTSCH. F. FISCHEREI U.D. HILFWISSENSCHAFTEN N.R. 8(1/3), pp 199 - 219.

SCHIEMENZ F, 1962

Beobachtungen über das Verhalten der Forellen beim Aufstieg über ein Felsenwehr, bedeutungsvoll für die Konstruktion von Fischtreppen

ALLG. FISCH - ZTG, 1962, vol. 87 n° 19 pp 553 - 558

vol. 87 n° 20 pp 602 - 605.

SCHIEMENZ F, 1963 b

Eine Treppe für die Fische

FISCHWIRT 13 : 16-17

SCHIEMENZ F. et KOOPS H, 1963

Bewährung von Zufluchtstellen bei der Wulstfischtreppe Geesthacht/Elbe

WASS. BODEN n° 9 : pp 330 - 334.

SCHIEMENZ F, 1966

Eine Fischtreppe für springende Fische

DER FISCHWIRT., 16 Yhrg, November 1966, n° 11, pp 287 - 295.

SCHMASSMANN W, 1928

Messugen über den Formwiderstand der Fische bei verschiedenen Wassergeschwindigkeit. une seine Berücksichtigung beim Bau der Fischpässe

SCHWEIZ. FISCHZTG, vol. 36, n° 11, pp 337 - 346

vol. 36, n° 12, pp 370 - 376.

SCHWALME K, WILLIAM M.C, LINDNER D, 1985

Suitability of vertical slot and denil fishways for passing north-temperate, non-salmonid fish

CAN. J. FISH. AQUAT. SCI.O., vol. 42, n° 11 pp 1815 - 1822.

SERVAIS P, 1988

Conséquences sur l'état sanitaire de l'eau

Actes du Colloque : " L'impact de l'homme sur l'écosystème Meuse"

(Namur : 3 - 4 novembre 1987)

Presse universitaire de Namur, 1988, sous presse.

SIERRA A, 1983

Etude comparée de la reproduction de l'ablette en Meuse
Alburnus alburnus (L. 1758), en amont et en aval de la centrale
nucléaire de Tihange

Mémoire présenté en vue d'obtenir de grade de licencié en sciences
naturelles appliquées Institut des Sciences Naturelles Appliquées,
Université Catholique de Louvain.

SLATICK E, 1975

Laboratory evaluation of Denil type steep pass fishway with various
entrance and exit conditions for passage of adult salmonids and
American shad

MAR. FISH. REV., vol. 37, n° 9, pp 17 - 26.

SLATICK E. et BASHAM L.R., 1985

The effect of Denil fishway length on passage of some nonsalmonid
fishes

MARINE FISHERIES REVIEW, vol. 1, n° 47.

STEINMANN P, KOCH W. et SCHEURING L, 1937

Die Wanderungen unserer Süßwasserfische. Dargestellt auf Grund von
Markierungsversuchen

Z. FISCH. HILFSWISS. 35 : 369 - 467.

STUART T.A, 1962

The leaping behaviour of salmon and trout at Falls and Obstructions
FRESHW. AND SALMON FISH. RES, n° 28, pp 1 - 46.

TESCH F.W, 1964

Echographenaufzeichnungen an Fischpässen zur Untersuchung der
Wanderungsaktivität von Fischen

ARCH. F. FISCHEREIWISS., vol. 15, n° 3, pp 186 - 193.

TESCH F.W, 1975

Orientation in space : animals

Wiley, London,

TIMMERMANS J.A, 1967

Les passes à poissons au barrage de la Neuville

Le Franc Pêcheur, 12è année, n° 47, juillet 1967, pp 14 - 15.

VAN CRAENENBROECKE W, 1988

Conséquences sur la qualité de l'eau : la pollution, ses remèdes et sa surveillance

Actes du Colloque : " L'impact de l'homme sur l'écosystème Meuse" (Namur : 3 - 4 novembre 1987)

Presses universitaires de Namur, 1988, (sous presse).

VERNIERS G, 1988

Aménagement écologique des berges des cours d'eau navigables

Etude de cas : la Meuse et l'Ourthe

Rapport n° 2 - GIREA - 71 p.

VIBERT R, 1948

Domages piscicoles des usines hydroélectriques. Evaluation et limitation

BULL. FR. DE PISCICULT., n° 148 et 149, 31 p.

VIBERT M, LAGLER K, 1961

Pêches continentales. Biologie et aménagements

Dunod, Paris, 720 p.

VIOLETTE A, 1908

Les échelles à poissons

BULL. SOC. CENT. AQUIC. PECHE, n° 4 - 5, 39 p.

VON GUNTEN A.M, 1956

Fisch passage facilities at Mc NARY dam

J. PWR. DIV. AM. SOC. CIV. ENGRS, vol. 82.

WARDLE C.S, 1980

Environmental Physiology of fishes

All, M.A. PLENUM PRESS, New York and London, 723 p.

WEBB P.W, 1975

Hydrodynamics and energetic of fish propulsion (Bulletin of the fisheries Research Board of Canada n° 190)

Office of the Edito Fisheries and Marine Service Department of the Environment, Ottawa, 158 p.

WEBSTER D.A, 1965

"Leaping Rainbows of the Finger Lakes"

N.Y. State Conservation Dept., Division of Conversation Education, Information Leaflet, 1965.

WHITE C.M, NEMENYI P, 1942

Report on the Comitee of fish-passes

Institution of civil Engineers, London, 61 p.

WHITE D.K. et PENNINO B. J, 1980

Connecticut river fishways-model studies

ASCE, Journal of the Hydraulics Division, HY7, pp 1219 - 1233

WHITFIELD R.E. et KOLENOSKY D.P, 1978

Prototype Eel ladder in the St Lawrence River

THE PROGRESSIVE FISH CULTURIST, vol. 40, n° 4, pp 152 - 154.

ZIEMER G.L, 1962

Steeppass fishway development. Inf. Leaflet. 12

ALASKA DEPT. FISH. GAME, DIV. ENGG. SERV, n° 12, pp 1 - 32.

Addenda

GARDEBOIS A., 1968

Aménagement des passes à poissons sur le LEGUER au barrage de
KERNANSQUILLEC en PLOUVENEZ-MOEDEC (Côtes du Nord)

BULL. FR. DE PISC. n° 233.

GILLET A., 1982

Etude de la croissance du gardon (Rutilus rutilus (L.)) en amont
et en aval de la centrale nucléaire de Tihange : influence des
rejets thermiques

Mémoire présenté pour l'obtention du grade d'ingénieur agronome,
UCL, Louvain-la-Neuve, 122 p.

MANN K.H., 1965

Energy transformations by a population of fish in the river Thames

J. ANIM. ECOL., 34, 253-275

ORGANISATIE TER VERBETERING VAN DE BINNENVISSERIJ, 1987

De Zalm : samengesteld ter gelegenheid van het internationale
symposium : "De Maas moet schoon", georganiseerd door Vereniging
Visstandverbetering Maas, 26 oktober 1987, 42 p.

Liste des figures

- Fig. 1 : Passe en entonnoir (d'après LARINIER, 1977).
- Fig. 2 : Passe en écharpe (d'après PRYCE-TANNATT in LARINIER, 1977).
- Fig. 3 : Prébarrage sur un petit cours d'eau (d'après JENS, 1982).
- Fig. 4 : Petit prébarrage en bois rachetant une faible dénivellation (d'après JENS, 1982).
- Fig. 5 : Prébarrage installé sur une grande rivière (d'après FRISCHHOLZ, 1924).
- Fig. 6 : Bassin rectangulaire constituant un bief intermédiaire (d'après JENS, 1982).
- Fig. 7 : Anneau en béton partageant une dénivellation (d'après JENS, 1982).
- Fig. 8 : Conteneurs placés sur la rive servant de passe à poissons (d'après JENS, 1982).
- Fig. 9 : Abaque de dimensionnement des passes à bassins (d'après LARINIER, 1977).
- Fig.10 : Passe à bassins installée en épingle à cheveux (d'après JENS, 1982)
1. : niveau de l'eau dans le bief amont
 2. : niveau de l'eau dans le bief aval
 3. : eau qui déverse et qui constitue un appel pour le poisson
 4. : entrée de la passe pour le poisson
 5. : entrée de la passe pour l'eau
 6. : seconde rampe de bassins de la passe
 7. : barrage
- Fig.11 : Passes à cloisons déversantes (d'après LARINIER, 1977).
- Fig.12 : Passe à échancrure déversante en plan incliné utilisé sur la côte est des Etats-Unis (d'après DOMINY in LARINIER, 1977).
- Fig.13 : Profil des mouvements de l'eau dans un bassin à fond incliné et à cloisons transversales déversantes avec parement aval incliné (d'après FRISCHHOLTZ, 1924).

- Fig. 14 : Profil des mouvements de l'eau dans un bassin à fond horizontal et à cloisons transversales déversantes avec parement aval incliné (d'après FRISCHHOLTZ, 1924).
- Fig. 15 : Profil des mouvements de l'eau dans un bassin à fond horizontal et à cloisons transversales déversantes avec parement aval vertical (d'après FRISCHHOLTZ, 1924).
- Fig. 16 : Profil des mouvements de l'eau dans un bassin à fond incliné et à cloisons transversales avec échancrure à parement aval vertical (d'après FRISCHHOLTZ, 1924).
- Fig. 17 : Profil des mouvements de l'eau dans un bassin à fond horizontal et à cloisons transversales avec échancrures et parement aval vertical (d'après FRISCHHOLTZ, 1924).
- Fig. 18 : Profil du flux d'eau dans le cas d'un jet plongeant et d'un jet de surface (d'après CLAY, 1961 in RAJARATNAM et alii, 1987).
- Fig. 19 : Vague constante formée par un jet plongeant et constituant vraisemblablement un stimulus de saut pour le poisson (d'après AASERUDE, 1985).
- Fig. 20 : Passe à orifices noyés proposée par le COMMITTEE ON FISH PASSES (1942) in LARINIER (1977).
- Fig. 21 : Passe à bassins du barrage de PITLOCHRY
Détail des orifices (d'après LARINIER, 1977).
- Fig. 22 : Passe à orifices à la Borda (d'après MICHEL et NADEAU, 1965).
- Fig. 23 : Profil des mouvements de l'eau dans un bassin avec orifices à la Borda (d'après MICHEL et NADEAU, 1965).
- Fig. 24 : Passe de type mixte conventionnelle avec deux orifices noyés et deux échancrures (d'après LARINIER, 1977).
- Fig. 25 : Passe mixte rhomboïde (d'après JENS, 1982).
- Fig. 26 : Passe à fentes verticales type HELL'S GATE (d'après CLAY in LARINIER, 1977).
- Fig. 27 : Caractéristiques des premières échelles DENIL (d'après LARINIER, 1977).

- Fig. 28 : Vue en plan et de côté d'une aire expérimentale montrant la position d'une échelle DENIL pour des tests concernant les conditions d'entrée (d'après SLATICK, 1975).
- Fig. 29 : Cette échelle DENIL possède un écran grillagé servant à guider le poisson vers l'entrée de la passe (d'après SLATICK, 1975).
- Fig. 30 : Profil de vitesse typique pour une échelle DENIL à ralentisseurs plans (d'après RAJARATNAM et alii, 1984).
- Fig. 31 : Echelle DENIL simplifiée PILI-PLAN (modifié d'après LARINIER, 1977).
- Fig. 32 : Echelle de type PIRO (modifié d'après LARINIER, 1977).
- Fig. 33 : Passe à ralentisseurs de type PIRO-PLAN (modifié d'après BACHELIER in LARINIER, 1977).
- Fig. 34 : Echelle de type RIRO (modifié d'après DENIL in LARINIER, 1977).
- Fig. 35 : Coupe transverse d'une section d'échelle à ralentisseurs de type A (d'après BEACH, 1984).
- Fig. 36 : Vue plongeante à travers une échelle à ralentisseurs de type A (d'après BEACH, 1984).
- Fig. 37 : Echelle de type PACHE (modifié d'après DENIL in LARINIER, 1977).
- Fig. 38 : Echelle de type LACHADENEDE (d'après LACHADENEDE, 1931).
- Fig. 39 : Paramètres caractéristiques de la passe à ralentisseurs plans (d'après LARINIER, 1983).
- Fig. 40 : Paramètres caractéristiques de la passe à ralentisseurs de type "FATOU" (d'après LARINIER, 1983).
- Fig. 41 : Echelle de type PILI (modifié d'après DENIL et NEMENYI in LARINIER, 1977).
- Fig. 42 : Les différentes étapes dans le fonctionnement d'une écluse à poissons (d'après DEELDER, 1958).
- Fig. 43 : Ecluse en charge du barrage de Mc NARY sur la rivière Columbia (d'après VON GUNTEN in LARINIER, 1977).

- Fig. 44 : Ecluse à poissons aménagée pour que l'eau arrive à une vitesse acceptable dans la chambre aval (d'après BACHELIER, 1953 b).
- Fig. 45 : Ecluse à poissons munie d'une chambre d'observation (d'après JENS, 1982).
- Fig. 46 : Schéma général d'une barge utilisée pour le transport des migrateurs à l'amont d'un barrage (d'après MALEVANCHIK, 1969 in LARINIER, 1977).
- Fig. 47 : Principe d'une barrière à migrateurs (modifié d'après BELL in LARINIER, 1977).
- Fig. 48 : Plan du site d'installation d'un ponceau (d'après Mc KINNON et HNYTKA, 1985).
- Fig. 49 : Vue d'un tributaire passant à travers un ponceau aménagé (d'après Mc KINNON et HNYTKA, 1985).
- Fig. 50 : Anguille se déplaçant sur un fagot disposé à cet effet (d'après JENS, 1982).
- Fig. 51 : Touffes de poils adaptées à faciliter la progression de l'anguille (d'après JENS, 1982).
- Fig. 52 : Planche avec touffes de poils laissant le choix de la profondeur d'eau (d'après JENS, 1982).
- Fig. 53 : Brosse pour anguilles installée sur une passe à bassins de type mixte (d'après JENS, 1982).
- Fig. 54 : Rigole permettant aux anguilles de franchir un petit obstacle (d'après JENS, 1982).
- Fig. 55 : Matelas de fagots servant de passe à anguilles (d'après JENS, 1982).
- Fig. 56 : Tapis de poils permettant aux anguilles de franchir un radier de barrage vertical (d'après JENS, 1982).
- Fig. 57 : Schéma des forces agissant sur un poisson avant qu'il n'émerge de l'eau pour l'exécution d'un saut (d'après AASERUDE, 1985).
- Fig. 58 : Schéma des forces agissant sur un poisson qui vient d'émerger pour l'exécution d'un saut (d'après AASERUDE, 1985).

- Fig. 59 : Schéma représentant la recherche de frayères dans un fleuve traversé par plusieurs barrages munis de passes à poissons (d'après PELZ, 1985).
- Fig. 60 : Bonne disposition (B) et mauvaise disposition (A) de l'entrée d'une passe dans le cas d'un barrage disposé obliquement sur un cours d'eau (d'après JENS, 1982).
- Fig. 61 : Position de la rive (P) où s'exerce la pression à contre-courant due à la rotation transversale de la masse d'eau sur elle-même (d'après JENS, 1982).
- Fig. 62 : Passe à poissons disposée sur la rive où la pression du courant est maximale (d'après JENS, 1982).
- Fig. 63 : Représentation des mouvements de l'eau dans une rivière (d'après JENS, 1982)
- 1 : correspond à P de la Fig. 61
 - 2 : correspond à G de la Fig. 61
 - 3 : ligne de la plus grande vitesse du courant
 - 4 : sommet du méandre correspondant à la rive "de choc"
 - 5 : point où le sens de rotation de l'eau s'inverse.
- Fig. 64 : Grille servant à diriger les poissons attirés par un canal de fuite vers l'entrée d'une passe (d'après LARINIER, 1977).
- Fig; 65 : Poissons momentanément désorientés (C) dans un tourbillon en aval d'une turbine et retrouvant leur chemin (A) après des mouvements giratoires (d'après JENS, 1982).
- Fig. 66 : Sortie d'eau d'une passe s'écoulant obliquement par rapport au courant du fleuve afin d'être perçue plus aisément par les poissons (d'après JENS, 1982).
- Fig. 67 : Profil de l'écoulement de l'eau en aval d'une passe située à côté d'une sortie de turbine
- a) en fonctionnement ordinaire
 - b) en fonctionnement ralenti
- (d'après PELZ, 1985).
- Fig. 68 : Echelle à poissons installée sur un biez destiné à l'alimentation d'un moulin à eau (d'après JENS, 1982).

- Fig. 69 : Débit de la Meuse à Chooz pour 1987 et le débit de l'année 1988 (corrigé par un coefficient d'apport des affluents) (établi d'après les données de la CIBE).
- Fig. 70 : Température de la Meuse à Tailfer pour 1987 et le début de l'année 1988 (établi d'après les données de la CIBE).
- Fig. 71 : Concentration en O_2 dissous dans l'eau de la Meuse à Tailfer pour 1987 et le début de l'année 1988 (établi d'après les données de la CIBE).
- Fig. 72 : Position des obstacles à la remontée des poissons de l'embouchure jusqu'à la frontière franco-belge sur la Meuse (modifié d'après ORGANISATIE TER VERBETERING VAN DE BINNENVISSERIJ, 1987).
- Fig. 73 : Parties inférieures et supérieures de l'échelle de Lixhe (d'après HOUBART, 1981).
- Fig. 74 : Schéma de l'échelle type gradin (ou escalier) avec passe ou goulotte à anguilles (modifié d'après TIMMERMANS, 1982 in MICHA, 1985).
- Fig. 75 : Répartition des captures à l'écluse à poissons de Lith le long de l'année 1975 (d'après de GROOT et MUYRES, 1980).
- Fig. 76 : Répartition des captures à l'écluse à poissons de Lith le long de l'année 1976 (d'après de GROOT et MUYRES, 1980).
- Fig. 77 : Distribution de fréquence de la taille des poissons capturés et mesurés dans les passes à poissons de La Plante, Tailfer et Rivière en 1988
- | | | |
|--------------|-----------------------|----------------------|
| A. Perches | D. Brèmes bordelières | G. Truite de rivière |
| B. Gardons | E. Brèmes communes | H. Vandoise |
| C. Chevesnes | F. Ablettes | I. Hotus |
| | | J. Grémille |
- Fig. 78 : Distribution de fréquence de la taille des gardons capturés et mesurés dans les parties inférieures (en noir) et supérieures (en hachuré) des passes à poissons pendant l'année 1988
- | |
|----------------|
| A. à La Plante |
| B. à Tailfer |
| C. à Rivière |

Fig. 79 : Distribution de fréquence de la taille des ablettes capturées et mesurées dans les parties inférieures (en noir) et supérieures (en hachuré) des passes à poissons (pendant l'année 1988)

- A : à La Plante
- B : à Tailfer (15 cm)
- C : à Tailfer (30 cm)
- D : à Rivière.

Fig. 80 : Distribution de fréquence de la taille des chevesnes capturés et mesurés dans les parties inférieures (en noir) et supérieures (en hachuré) des passes à poissons (pendant l'année 1988)

- A : à La Plante
- B : à Tailfer (15 cm)
- C : à Tailfer (30 cm)
- D : à Rivière

Fig. 81 : Evolution de la température et de la concentration en oxygène dissous de l'eau de la Meuse à Tailfer pendant la période d'étude des passes à poissons de la Meuse moyenne supérieure (à 8 h du matin)
(d'après CIBE, com. pers.).

Fig. 82 : Evolution du débit de la Meuse à Chooz pendant la période d'étude des passes à poissons de la Meuse moyenne supérieure (les valeurs sont corrigées par un coefficient tenant compte de l'apport des affluents)
(d'après CIBE, com. pers.).

Fig. 83 : Phases de la lune pendant la période étudiée

Fig. 84 : Présence de quelques espèces de poissons pour les journées comprises entre le 20/04/1983 et le 8/08/1983 dans les passes de Coblenz (Ko) et de Lehmen (Le) (sans tenir compte du nombre d'individus)
(d'après PELZ, 1985).

Liste des tableaux

- Tableau 1 : Vitesse de nage et hauteur de saut possibles pour les différentes espèces de poissons
(d'après DENIL, 1938 ; JENS, 1982 ; KREITMANN, 1932 ; LACHADENEDE, 1958 ; LARINIER, 1977 et WEBB, 1975).
- Tableau 2 : Facteurs qui influencent les capacités de saut et de nage des poissons (d'après AASERUDE, 1985).
- Tableau 3 : Résumé des exigences énergétiques pour un poisson en remontée pesant 4 livres
(d'après MIH, 1983 in AASERUDE, 1985).
- Tableau 4 : Répartition des espèces des poissons trouvées à la passe à poissons de Coblenze, suivant leurs exigences au point de vue courant (d'après PELZ, 1985).
- Tableau 5 : Résultats des contrôles de l'échelle de la rive gauche du barrage d'Angleur effectués de mai à novembre 1935 (corrigé d'après DENIL, 1936).
- Tableau 6 : Liste des obstacles à la remontée des poissons de l'embouchure jusqu'à la frontière franco-belge sur la Meuse (d'après GILLET, com. pers.; MICHA, 1985 ; VAN DER SCHAFT, com. pers.)
- Tableau 7 : Caractéristiques techniques des passes à poissons à bassins successifs de La Plante, Tailfer et Rivière.
- Tableau 8 : Recensement des sites de fraye (effectifs et potentiels) de la Meuse moyenne supérieure (mai 1988)
(d'après VERNIERS, 1988).
- Tableau 9 : Remontée des poissons via l'écluse à poissons de Lith (d'après de GROOT et MUYRES, 1980).
- Tableau 10 : Remontée des anguilles par la goulotte à anguilles de Lith (d'après de GROOT et MUYRES, 1980).
- Tableau 11 : Remontée des poissons par l'écluse à poissons de Lith détaillée par espèces de poissons
(d'après de GROOT et MUYRENS, 1980).
- Tableau 12 : Remontée des poissons via l'échelle à poissons de Belfeld (d'après de GROOT et MUYRES, 1980)

- Tableau 13 : Remontée des poissons par l'échelle à poissons de Belfeld détaillée suivant les espèces (d'après de GROOT et MUYRENS, 1980).
- Tableau 14 : Remontée des poissons via l'échelle à poissons de Linne (d'après de GROOT et MUYRES, 1980).
- Tableau 15 : Remontée des poissons via l'échelle à poissons de Linne, détaillée par espèces (d'après de GROOT et MUYRES, 1980).
- Tableau 16 : Résultats des captures à Lith, Belfeld et Linne (d'après de GROOT et MUYRES, 1980).
- Tableau 17 : Contrôle des poissons dans les passes à bassins successifs du barrage de Lixhe en 1982 (8 jours de contrôle, du 6 mai au 30 juillet) (HOUBART et PHILIPPART, 1982 in PHILIPPART, 1987).
- Tableau 18 : Résultat des contrôles de la remontée des poissons dans les passes à poissons du barrage de Monsin en 1933-1934 et du barrage de Roermond (Hollande) en 1930 (d'après DENIL, 1935 in PHILIPPART, 1987).
- Tableau 19 : Contrôle des passes à poissons d'Ampsin-Neuville de 1963 à 1966 (d'après TIMMERMANS, 1967).
- Tableau 20 : Répartition par espèces du nombre de poissons capturés dans les trois bassins de repos de l'échelle DENIL d'Ampsin-Neuville du 15/04 au 13/06/1988 (d'après PHILIPPART, com. pers.).
- Tableau 21 : Espèces de poissons qui furent capturées lors des pêches électriques et les vidanges aux passes à poissons de La Plante, Tailfer et Rivière de mai à août 1987 et de mars à juin 1988.
- Tableau 22 : Importance relative des différentes espèces de poissons capturées pendant l'étude.
- Tableau 23 : Evolution du nombre de captures pour chaque espèce suivant la période pour La Plante en 1987.

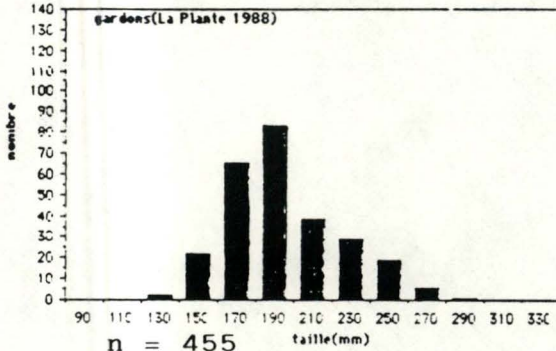
- Tableau 24 : Evolution du nombre de captures pour chaque espèce suivant la période cumulée pour les 3 passes en 1988.
- Tableau 25 : Evolution du nombre de captures pour chaque espèce suivant la période pour La Plante en 1988.
- Tableau 26 : Evolution du nombre de captures pour chaque espèce suivant la période pour Tailfer en 1988.
- Tableau 27 : Evolution du nombre de captures pour chaque espèce suivant la période pour Rivière en 1988.
- Tableau 28 : Capture d'une nasse installée en amont de l'échelle de Tailfer pendant une journée (de 9 h à 17 h).
- Tableau 29 : Evolution de la vitesse de remontée des poissons au crépuscule et pendant la nuit
- Tableau 30 : Répartition du nombre de poissons capturés dans les différentes parties de l'échelle du barrage de Tailfer (11/03/88 au 30/06/88, 18 contrôles).
- Tableau 31 : Répartition des espèces dans les différentes parties de l'échelle du barrage de La Plante (27/05/87 au 18/08/87).
- Tableau 32 : Répartition des espèces dans les différentes parties de l'échelle du barrage de La Plante (11/04/88 au 30/06/88).
- Tableau 33 : Répartition des espèces dans les différentes parties de l'échelle du barrage de Tailfer (11/03/88 au 30/06/88).
- Tableau 34 : Répartition des espèces dans les différentes parties de l'échelle du barrage de Rivière (11/04/88 au 30/06/88).
- Tableau 35 : Longueur minimale des différentes espèces de poissons dans les parties inférieures et supérieures des échelles de La Plante, Tailfer et Rivière.
- Tableau 36 : Sexe des brèmes bordelières capturées dans les 3 échelles en 1988.

- Tableau 37 : Sexe des brèmes communes capturées dans les 3 échelles en 1988.
- Tableau 38 : Sexe des perches capturées dans les 3 échelles en 1988.
- Tableau 39 : Sexe des gardons capturés dans les 3 échelles en 1988.
- Tableau 40 : Sexe des grémilles capturées dans les 3 échelles en 1988.
- Tableau 41 : Sexe des chevesnes capturés dans les 3 échelles en 1988.
- Tableau 42 : Sexe des ablettes capturées dans les 3 échelles en 1988.
- Tableau 43 : Taille des perches suivant leur sexe et suivant la période pour les 3 échelles étudiées en 1988.
- Tableau 44 : Taille des gardons suivant leur sexe et suivant la période pour les 3 échelles étudiées en 1988.
- Tableau 45 : Taille des chevesnes suivant leur sexe et suivant la période pour les trois échelles étudiées en 1988.
- Tableau 46 : Données sur les conditions météorologiques pendant les journées de captures en 1987 (d'après l'IRM).
- Tableau 47 : Données sur les conditions météorologiques pendant les journées de captures en 1988 (d'après l'IRM).
- Tableau 48 : Importance relative en pourcents des différentes espèces de poissons dans les différentes échelles de la Meuse et dans le cours de la Meuse (pour le nombre d'individus).
- Tableau 49 : Présence des espèces de poissons dans les passes de Coblenze, Lehmen et Müden (d'après PELZ, 1985).
- Tableau 50 : Proposition occupée par les différentes espèces de poissons dans les captures des passes de la Moselle à Coblenze, Lehmen et Müden (exprimé en %, sans considérer les anguilles) (d'après PELZ, 1985).
- Tableau 51 : Tableau comparatif des périodes de remontée principales dans les passes de la Meuse moyenne supérieure (La Plante, Tailfer et Rivière), la passe de la Moselle à Coblenze et la période de reproduction en Europe (d'après plusieurs auteurs).

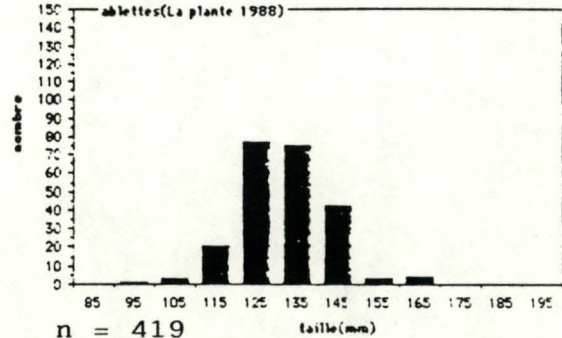
- Tableau 52 : Répartition du nombre de poissons capturés dans les différentes parties de l'échelle du barrage de La Plante.
- Tableau 53 : Répartition du nombre de poissons capturés dans les différentes parties de l'échelle du barrage de Rivière.
- Tableau 54 : nombre de poissons capturés dans les 3 bassins de repos de l'échelle DENIL en rive gauche du barrage d'Ampsin-Neuville du 15/04 au 13/06/1988 (17 contrôles)
(d'après PHILIPPART, com. pers.).
- Tableau 55 : Nombre de chevesnes retrouvés dans les bassins par assèchement d'une passe à poissons en comparaison avec les prises effectuées par une nasse les jours précédents ou suivants
(d'après PELZ, 1985).
- Tableau 56 : Liste des noms scientifiques et des noms vernaculaires pour les espèces de poissons en question.

ANNEXES

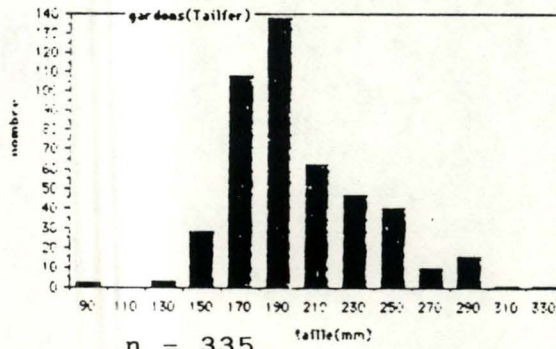
n = 265



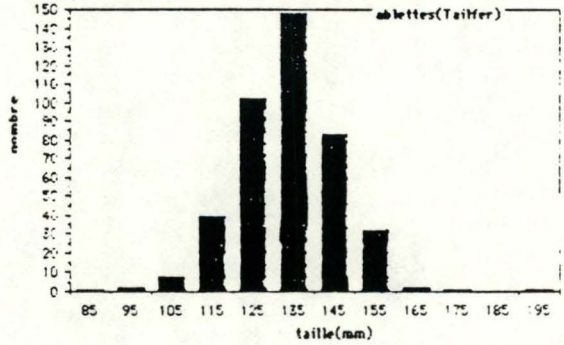
n = 225



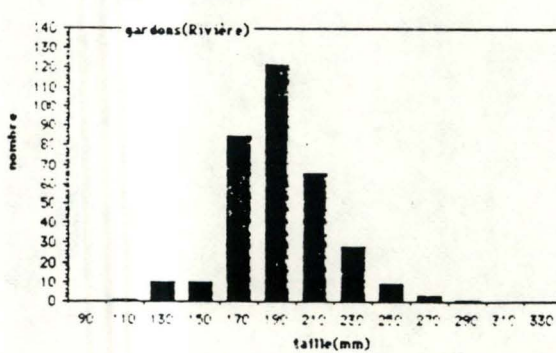
n = 455



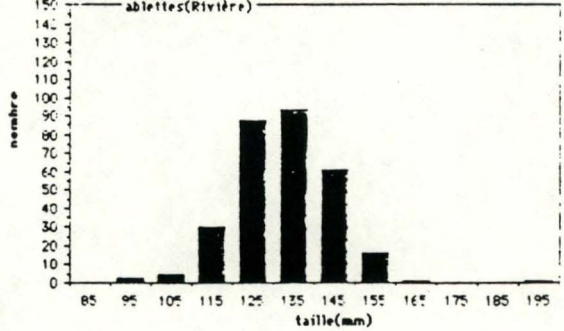
n = 419



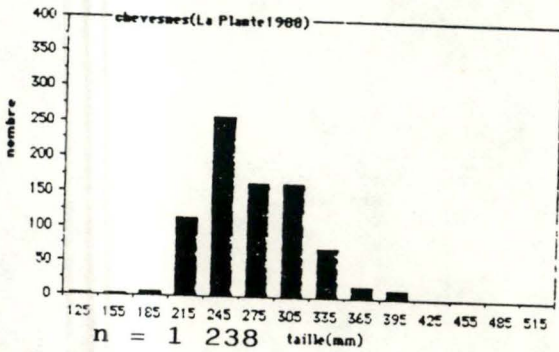
n = 335



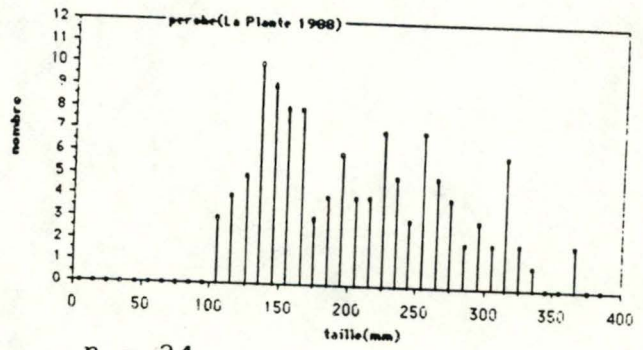
n = 297



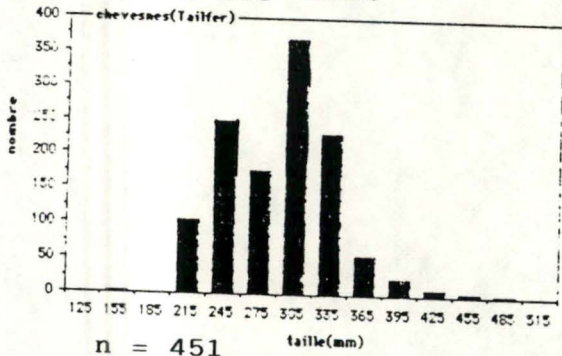
n = 816



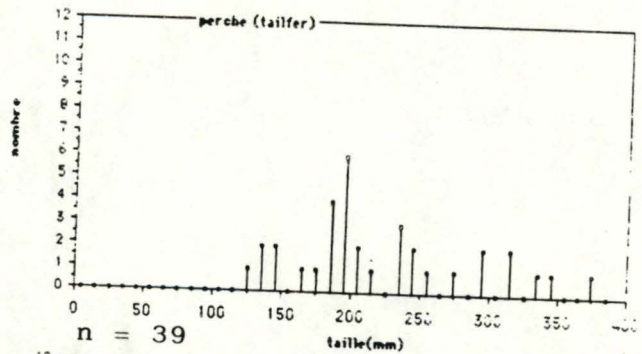
n = 177



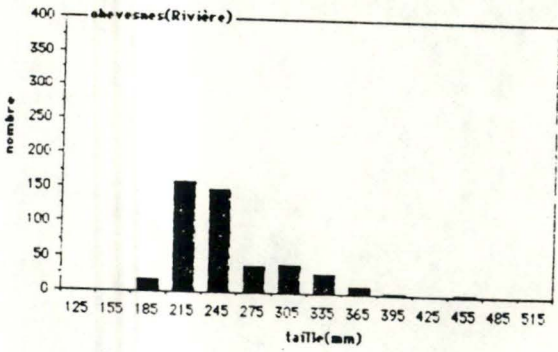
n = 1 238



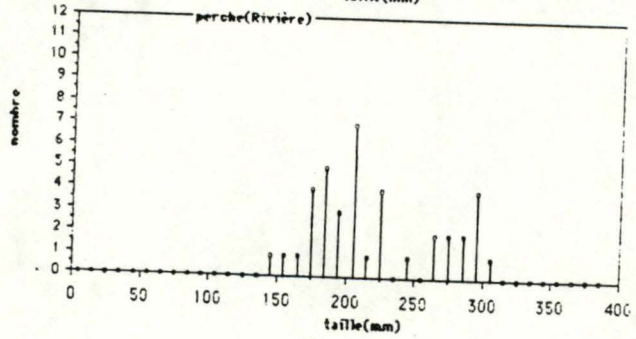
n = 34



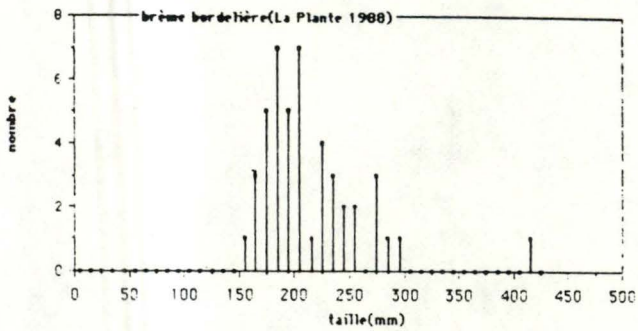
n = 451



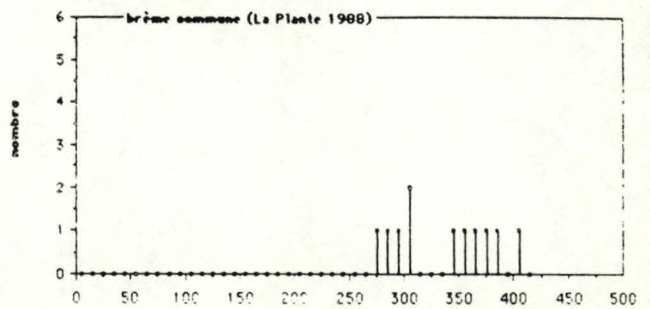
n = 39



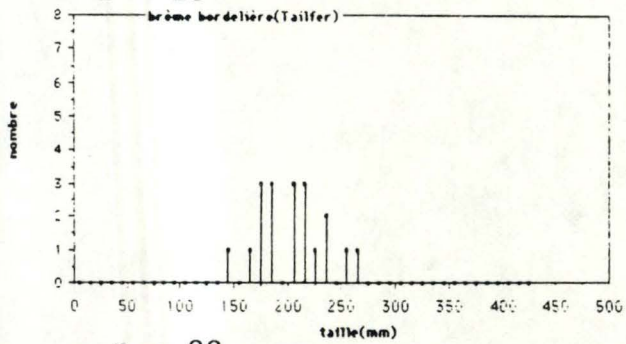
n = 46



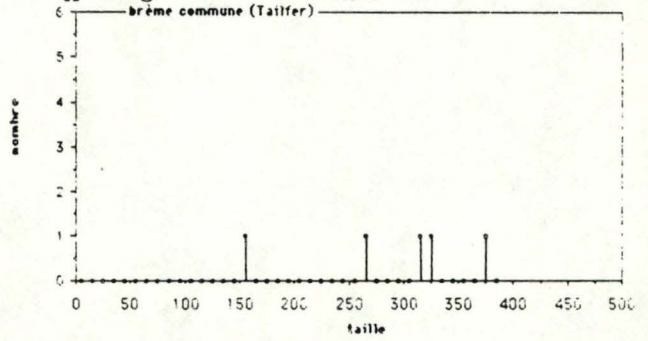
n = 11



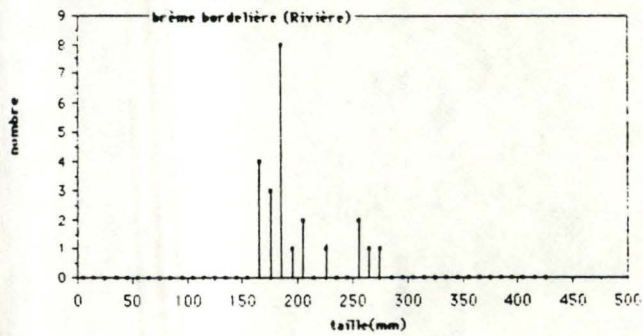
n = 19



n = 5



n = 23



n = 28

