

CHAPITRE 5

**PASSES A BASSINS SUCCESSIFS, PRÉBARRAGES
ET RIVIÈRES ARTIFICIELLES****M. LARINIER**CSP-CEMAGREF, GHAAPPE - Institut de Mécanique des Fluides
Avenue du Professeur Camille Soula - 31400 TOULOUSE**1. PRINCIPE DES PASSES A BASSINS SUCCESSIFS**

Très largement utilisées, les passes à bassins successifs sont de conception déjà ancienne : une enquête effectuée en France au siècle dernier (PHILIPPE, 1897) en dénombre déjà plus d'une centaine.

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

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

2. DÉNIVELLATION ENTRE BASSINS ET NATURE DES ÉCOULEMENTS

Le passage des migrateurs sera d'autant plus aisé que la différence de niveau entre deux bassins DH sera plus faible.

Toutefois, celle-ci ne peut être réduite de façon trop importante car cela se traduirait par un nombre de bassins prohibitif.

De façon grossière, la vitesse maximale dans le jet créé par la chute DH est voisine de :

$$V = (2g DH)^{0.5}$$

où g est l'accélération de la pesanteur (9.81 m/s²).

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

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

L'écoulement peut être soit à "**jet plongeant**", soit à "**jet de surface**". Dans l'écoulement à "jet plongeant", le jet qui se forme au niveau de chaque déversoir plonge vers le fond du bassin (Fig.1) ; l'énergie est dissipée par mélange turbulent et dispersion

dans un ressaut situé en pied de la chute. On rencontre ce type d'écoulement chaque fois que le niveau aval est situé au-dessous de la crête déversante.

Dans les passes à "jet plongeant", le poisson doit sauter dans la lame d'eau pour passer d'un bassin à l'autre. Ce type de passe sera réservé aux salmonidés. On adopte de préférence une chute voisine de 0.30 m. Celle-ci pourra cependant être augmentée, dans certains cas, jusqu'à 0.60 m pour les grands salmonidés migrateurs et jusqu'à 0.45 m pour la truite. On n'a cependant pas intérêt à trop accroître ces chutes dans la mesure où parallèlement le volume des bassins doit être augmenté afin de dissiper correctement l'énergie supplémentaire.

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

Dans le mode d'écoulement à "jet de surface", le jet qui se forme au niveau du rétrécissement de la cloison séparant deux bassins demeure en surface. Son énergie se dissipe dans le bassin aval en créant de grandes zones de recirculation. Ce type d'écoulement se produit lorsque le tirant d'eau aval au-dessus de la crête de déversement atteint 0.5 à 0.6 fois la charge amont (Fig.1) (LENNE, 1990). La transition entre l'écoulement à "jet plongeant" et l'écoulement à "jet de surface" est instable et présente une hystérésis marquée.

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

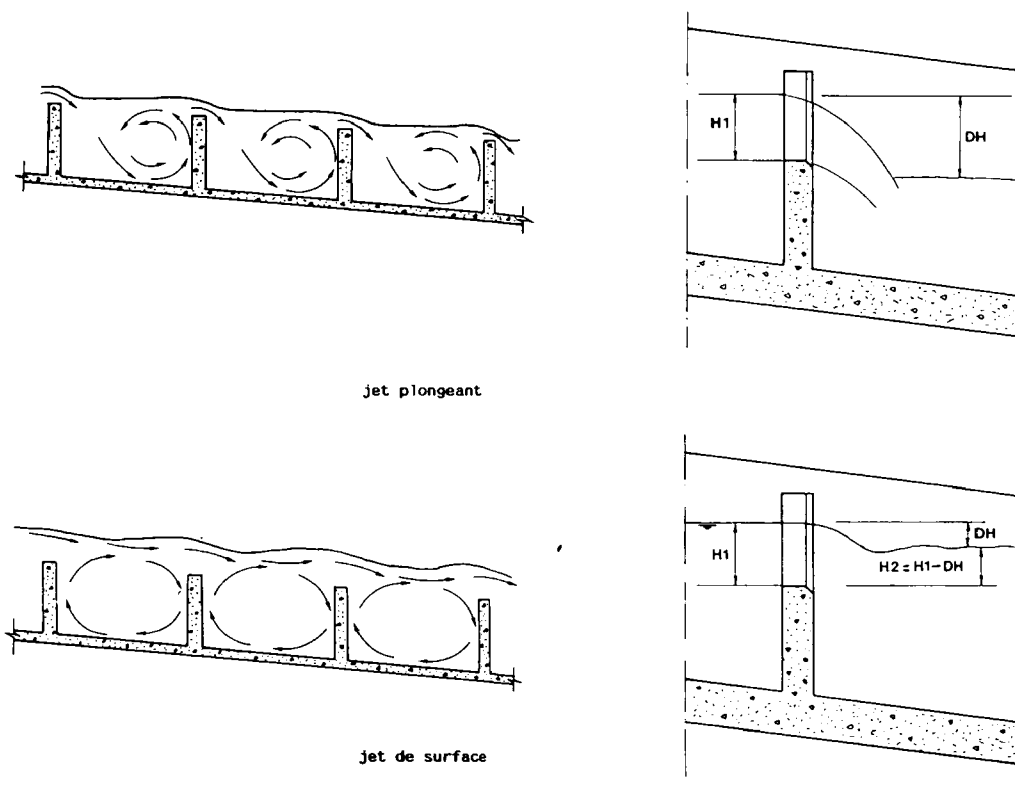


Figure 1 : Ecoulement à "jet de surface" et écoulement à "jet plongeant".

Figure 1 : Plunging and streaming flow in a fishway.

3. DIMENSIONS DES BASSINS

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

$$P_v = \rho g Q DH/V$$

où P_v : puissance dissipée volumique (watts/m³)

ρ : masse volumique de l'eau (1000 kg/m³)

g : accélération de la pesanteur (9.81 m/s²)

Q : débit dans la passe (m³/s)

DH : chute entre deux bassins (m)

V : volume d'eau dans le bassin considéré (m³).

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

Pour les passes à salmonidés, on prendra généralement comme limite supérieure de la puissance volumique dissipée 200 watts/m³.

Si la passe ne comporte que quelques bassins, et pour les très gros ouvrages transitant plusieurs m³/s, des valeurs sensiblement plus importantes de P_v peuvent être adoptées.

Par contre, pour les petites passes et les passes à aloses ou poissons blancs, il conviendra de prendre des valeurs plus faibles (inférieures à 150 watts/m³).

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

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

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

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

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

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

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

On veillera, dans les passes à "jet plongeant", à ce que la profondeur d'eau **au droit**

de la chute soit au minimum égale à 2 fois cette chute pour que le poisson puisse prendre aisément son appel.

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

4. DIMENSIONS MINIMALES DES ÉCHANCRURES DES ORIFICES ET DES FENTES

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

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

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

On prendra des surfaces minimales d'orifices de 0.09 à 0.10 m² pour les grands salmonidés migrateurs et les poissons de grande taille, de 0.04 m² pour la truite et la plupart des cyprinidés.

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

5. ESTIMATION DES DÉBITS DANS UNE PASSE A BASSINS

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

L'expression donnant le débit à travers un **orifice noyé** est de la forme (Fig. 2) :

$$Q = Cd S (2g DH)^{0.5}$$

où Q est le débit (m³/s)

S est la section de l'orifice (m²)

g est l'accélération de la pesanteur (9.81 m/s²)

DH est la chute entre les deux bassins (m)

Cd est le coefficient de débit.

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

L'expression donnant le débit à travers une **fente verticale** est de la forme (Fig. 2) :

$$Q = Cd b H1 (2g DH)^{0.5}$$

où Q est le débit (m³/s)

b est la largeur de la fente (m)

H1 est la charge sur la fente (m), c'est-à-dire la différence entre la cote du niveau d'eau à l'amont de la fente et la cote de la base de cette fente

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

DH est la chute entre les deux bassins (m)

C_d est le coefficient de débit.

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

L'expression donnant le débit à travers une **échancre rectangulaire** constituant un **déversoir dénoyé** est de la forme (Fig. 2) :

$$Q = C_d b (2g)^{0.5} H_1^{1.5}$$

Q

où est le débit (m^3/s)

b est la largeur de l'échancre (m)

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

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

C_d est le coefficient de débit.

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

Lorsque l'échancre peut être considérée comme un **déversoir rectangulaire en mince paroi noyé par l'aval** (c'est-à-dire lorsque la cote de déversement de l'échancre d'une cloison est située au-dessous du niveau du plan d'eau dans le bassin situé immédiatement à l'aval) et pour un noyage modéré ($(H_1-DH)/H_1 < 0.9$), le débit Q_n en régime noyé peut être approché par l'expression suivante (Fig. 2) :

$$Q_n = K Q_d$$

$$\text{avec } K = [1 - ((H_1-DH)/H_1)^{1.5}]^{0.385} Q_d = C_d b (2g)^{0.5} H_1^{1.5}$$

où Q_d est le débit (m^3/s) du même déversoir en régime dénoyé correspondant à la charge H_1

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

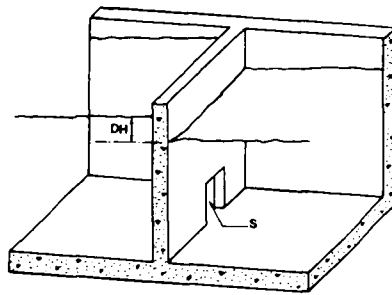
DH est la chute entre les deux bassins (m)

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

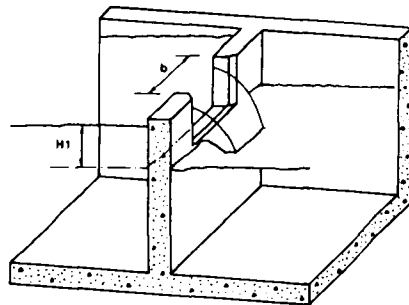
Il convient de souligner que les formules précédentes ne donnent qu'une valeur approximative du débit, dans la mesure où les conditions d'approche dans une passe à poissons et les caractéristiques des parois déversantes sont généralement très différentes de celles requises pour pouvoir utiliser en toute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

généralement différentes de celles au niveau des cloisons suivantes, dans la mesure où les vitesses d'approche sont plus faibles et les conditions amont sont plus homogènes.

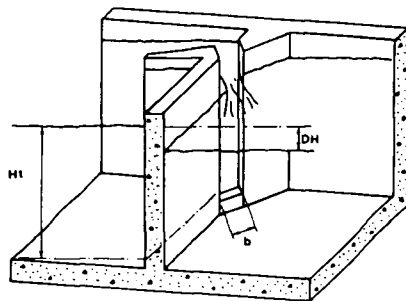
Dans la pratique, le niveau de précision obtenu est cependant suffisant pour dimensionner efficacement un ouvrage. Si la passe transite intégralement le débit réservé, ce qui est souvent le cas dans les microcentrales de montagne, on exigera une précision supérieure dans l'estimation du débit et il conviendra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



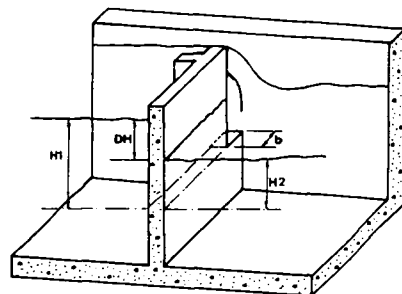
$$Q = Cd.S(2gDH)^{0.5}$$



$$Q = Cd.b(2g)^{0.5}H1^{1.5}$$



$$Q = Cd.b.H1(2gDH)^{0.5}$$



$$Qn = K.Qd$$

$$K = [1 - ((H1 - DH)/H1)^{1.5}]^{0.385}$$

$$Qd = Cd.b(2g)^{0.5}H1^{1.5}$$

Figure 2 : Paramètres géométriques et hydrauliques permettant d'évaluer le débit dans une passe à bassins.

Figure 2 : Geometrical and hydraulic parameters for determining flow discharge in a pool-type fishway.

6. CALAGE D'UNE PASSE A BASSINS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

9. On veillera, si la passe n'est pas rectiligne et fait un brusque **changement de direction** (virage à 180° par exemple), à réserver, entre le virage et la cloison qui le

précède, une **longueur minimale** égale à la longueur d'un bassin standard. On évite de ce fait que le jet issu de la fente ou de l'échancrure n'aille heurter trop violemment la paroi opposée.

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

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

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

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

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

— dans le cas d'une passe dont la partie déversante occupe une grande part de la largeur de la cloison, toute augmentation du niveau d'eau amont se traduit par un accroissement très rapide du débit, donc de la turbulence et de l'aération dans les bassins,

— dans le cas d'une passe à fente verticale, le débit et le volume d'eau dans les bassins croissent à peu près linéairement avec le niveau amont, les vitesses et le niveau de turbulence restant à peu près constants,

— dans le cas d'une passe à orifices noyés, la différence de niveau de part et d'autre des orifices ne variant pas, le débit reste inchangé.

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

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

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

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

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

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

8. SECTIONS DE RÉGULATION

Le contrôle du débit dans une passe pour limiter la turbulence à un niveau acceptable peut aussi se faire en installant à l'amont de l'ouvrage une section de régulation qui peut être de plusieurs types : statique (par une série de fentes verticales ou d'orifices noyés), mobile (par une succession de déversoirs ou clapets réglables), ou encore par un ensemble de dispositifs plus complexes consistant à court-circuiter un certain nombre de bassins en installant des sorties à plusieurs niveaux. On donne sur la figure 3 quelques exemples de sections de régulation.

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

Une solution consiste à installer à l'amont de l'ouvrage une série de vannes ou de clapets dont la position est asservie (manuellement ou automatiquement) au niveau amont et qui permettent à la fois de conserver dans l'ouvrage un débit à peu près constant tout en garantissant des chutes franchissables par le migrateur (Fig. 3a).

Pour les petits ouvrages (100 à 200 l/s), on choisit souvent des passes à "jet plongeant" pour limiter la longueur des bassins et adopter des pentes élevées (cas des microcentrales de montagne). Pour limiter les variations de débit en cas d'augmentation du niveau amont, la solution la plus fréquente consiste à adopter une section de régulation comportant plusieurs orifices noyés (Fig. 3b). Les orifices seront dimensionnés de telle sorte que la chute entre bassins ne dépasse pas une trentaine de cm pour les conditions de niveau amont maximales rencontrées en période de migration. En condition d'étiage ou d'eaux moyennes, les chutes au niveau de la section de régulation seront donc inférieures, de l'ordre de 10 à 20 cm. Une attention particulière devra être apportée aux risques de colmatage de ces orifices par les corps dérivants.

Lorsque le niveau du plan d'eau amont subit des variations beaucoup plus importantes que celui à l'aval, une solution consiste à dimensionner la passe et le nombre de chutes pour le niveau amont le plus haut. Lorsque celui-ci s'abaisse, on peut supprimer les chutes amont en ouvrant une communication (ouverture d'une vanne) au niveau des cloisons correspondantes (Fig. 3c) ou en installant latéralement plusieurs sorties dans les bassins amont (Fig. 3d).

9. INTÉRÊT DES PASSES A BASSINS

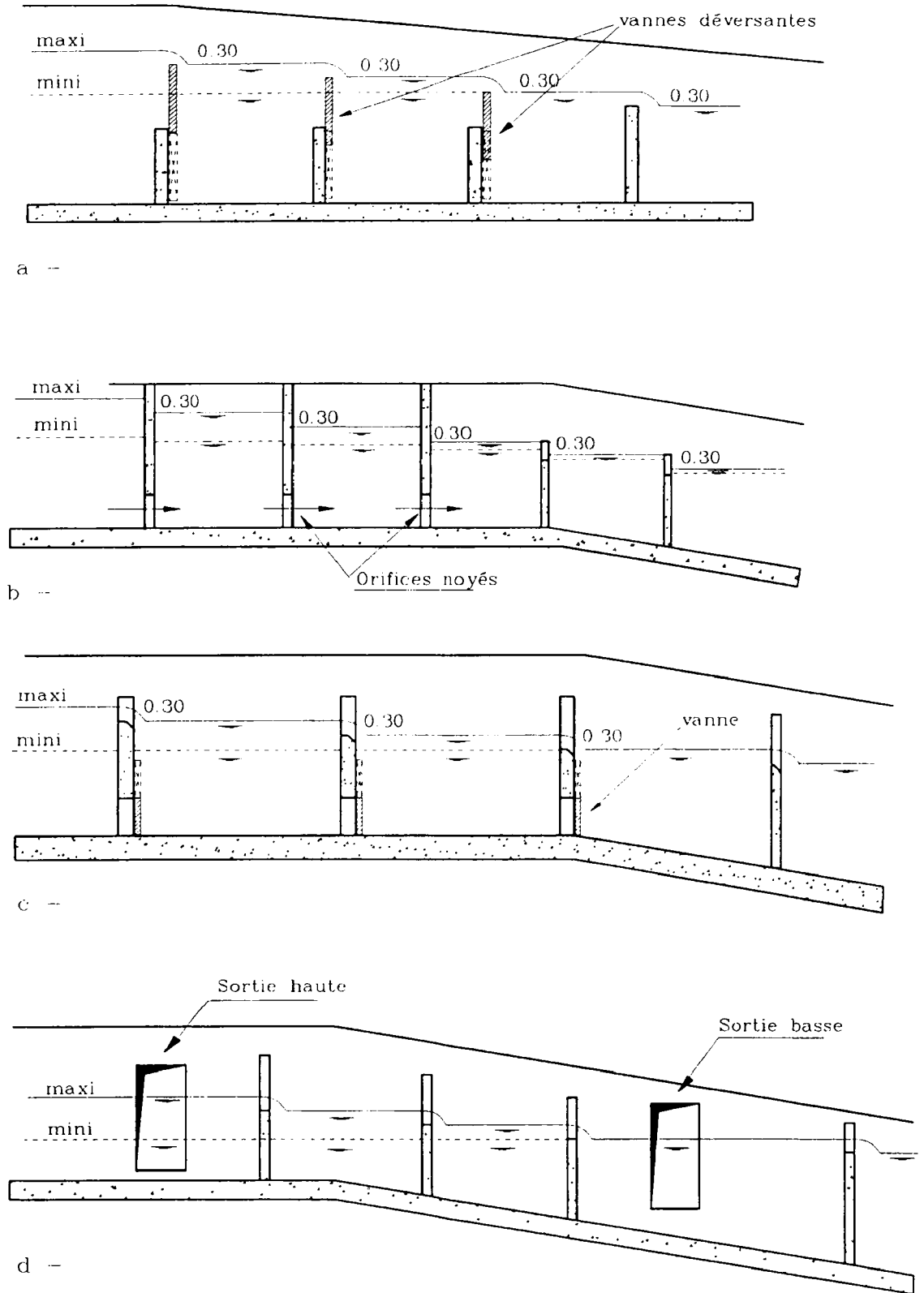


Figure 3 : Schémas illustrant le principe des sections de régulation dans une passe à bassins.

Figure 3 : Schematic plans illustrating flow control sections in a fishway.

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

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

Les **passes à fentes verticales** ne conviennent pour les grands migrateurs que pour des débits importants (supérieurs à 0.70 m³/s - 1 m³/s). Elles présentent l'avantage de s'adapter sans section de régulation à des variations importantes des niveaux amont et aval (plusieurs mètres).

Les **passes à échancrures**, associées ou non à des orifices de fond, sont les plus couramment utilisées car elles s'adaptent à de nombreux cas de figure : elles admettent une gamme étendue de débits (de quelques dizaines de litres/s à plusieurs m³/s) et, dans la mesure où les échancrures sont suffisamment profondes, elles supportent des variations relativement importantes du niveau amont.

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

10. EXEMPLES DE PASSES A BASSINS

10.1. Passe de type Ice Harbor

Ce type de passe (Fig. 4) qui a fait l'objet de nombreuses études sur modèles réduits a été souvent utilisé pour les salmonidés sur les côtes Ouest (en particulier au barrage d'Ice Harbor sur la rivière Columbia) et Est des USA (RIZZO, 1969 ; BELL, 1986). La longueur minimale des bassins est voisine de 3 m, le tirant d'eau moyen est de 2 m, la dénivellation entre bassins de 0.30 m, la pente de 10 %. L'écoulement se fait par une ou deux échancrures latérales suivant l'importance du débit à transiter, la charge restant voisine de 0.30 m.

La largeur des passes à deux échancrures peut aller de 2 m à plus de 10 m sur les gros ouvrages pour des débits de 1 m³/s à plus de 6 m³/s. La puissance dissipée volumique varie grosso modo de 150 watts/m³ à 200 watts/m³ selon les aménagements.

RIZZO (1986) donne un certain nombre de critères permettant de dimensionner ce type de passe. Le coefficient de débit de l'échancrure latérale est de l'ordre de 0.45, celui des orifices voisin de 0.85.

La largeur de chaque échancrure latérale est égale à 0.312 B, B étant la largeur de la passe. La dimension des orifices varie de (0.30m x 0.30m) pour une passe dimensionnée pour 1 m³/s à (0.46m x 0.46 m) pour les passes dimensionnées pour des débits supérieurs à 2 m³/s. Les caractéristiques des bassins sont données sur la figure 4.

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

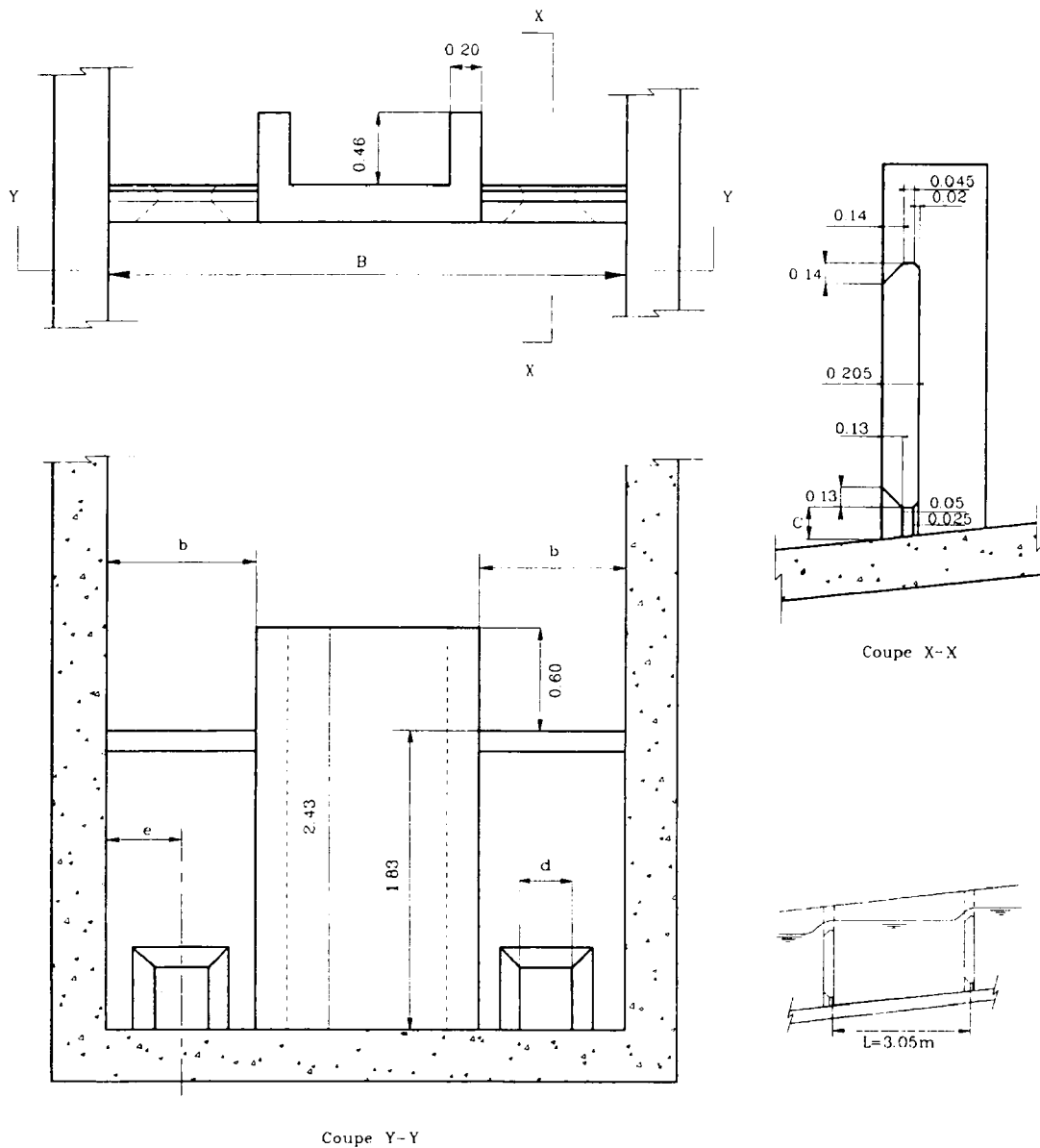
Ce type de passe a été utilisé pour l'aloise sur certains aménagements américains. L'expérience a montré que le passage de cette espèce s'avérait problématique pour la charge de dimensionnement de 0.30 m (jet plongeant). Plusieurs modifications ont dû être adoptées pour améliorer l'efficacité des dispositifs (RIDEOUT *et al.*, 1985) :

— augmentation de la charge (0.40 m-0.45 m) pour obtenir un écoulement plus superficiel,

— réduction de la section des orifices et obturation d'une échancrure sur deux, en

— réduction de la section des orifices et obturation d'une échancrure sur deux, en quinconce, de façon à éviter les phénomènes de court-circuit et diminuer la turbulence dans les bassins.

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



Q(*) (m ³ /s)	B (m)	b (m)	e (m)	exd (m x m)	Pv (*) (watts/m ³)
1	3.05	0.95	0.55	0.30x0.30	160
1.6	4.26	1.32	0.79	0.46x0.41	180
2	5.20	1.63	0.91	0.46x0.46	180

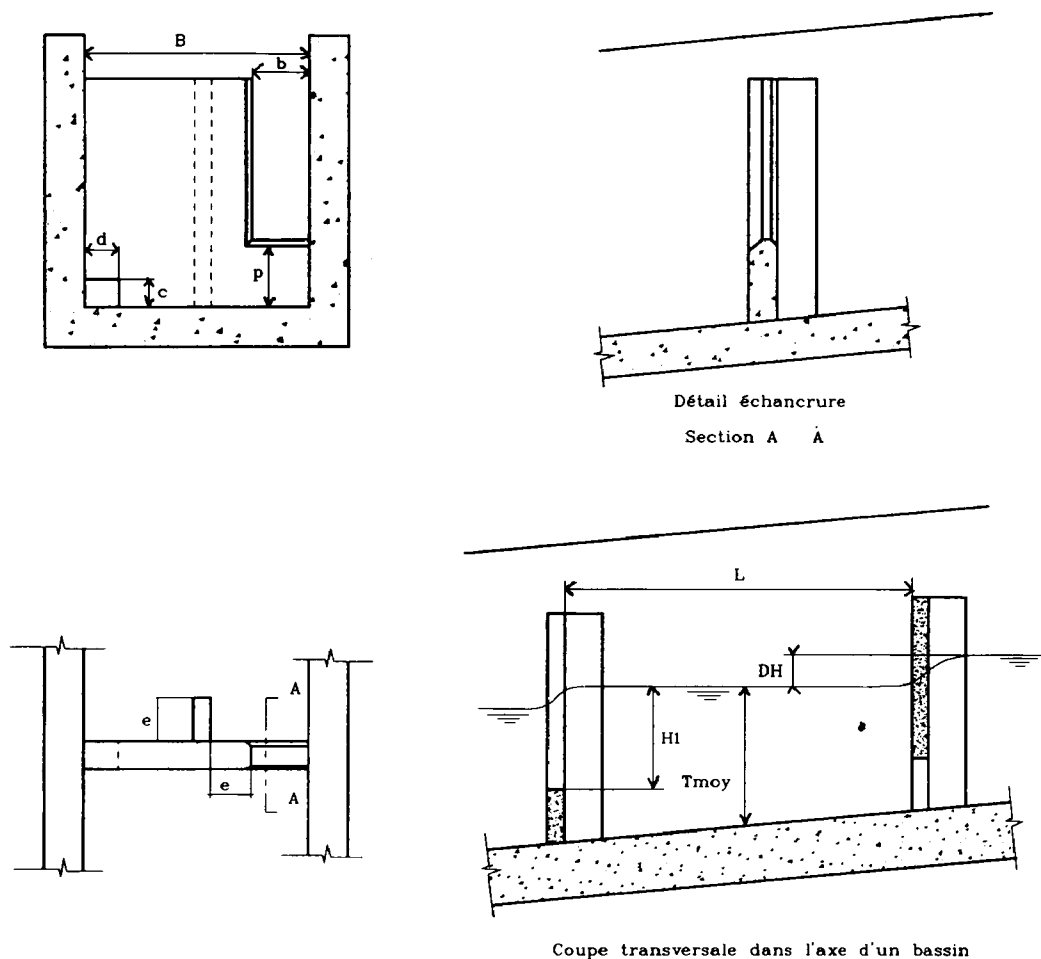
(*) débit et puissance volumique dissipée pour la charge nominale de 0.30 m

Figure 4 : Caractéristiques d'une passe à bassins de type Ice Harbor.

Figure 4 : Characteristics of a fishway of the "Ice Harbor" type.

10.2. Passe à échancrures latérales profondes et à orifices noyés

Ce type de passe (Fig. 5) qui a fait l'objet de plusieurs études sur modèles réduits est couramment utilisée en France. La communication entre bassins s'effectue par des échancrures latérales et des orifices de fond situés à l'opposé l'un de l'autre et dont les positions sont alternées d'un bassin à l'autre. Un déflecteur fixé sur la face amont de la cloison stabilise l'écoulement et réduit le décollement dans l'échancrure.



$Q^{(*)}$ (m ³ /s)	L (m)	B (m)	T_{moy} (m)	b (m)	cxd (m x m)	e (m)	p (m)	$H_1^{(*)}$ (m)
0.175	2.2	1.25	1.15	0.2	0.15x0.15	0.15	0.70	0.60
0.300	2.70	1.50	1.30	0.30	0.20x0.20	0.25	0.80	0.65
0.500	3.15	1.80	1.50	0.40	0.30x0.30	0.35	0.925	0.725
0.700	3.50	2.00	1.65	0.45	0.375x0.375	0.40	0.95	0.85

(*) Charge et débit de dimensionnement

Figure 5 : Caractéristiques d'une passe à échancrure latérale et à orifice noyé utilisée en France.

Figure 5 : Characteristics of a pool-type fishway used in France with deep side notches and submerged orifices.

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

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

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

On a donné à titre d'exemple sur la figure 5 les caractéristiques de bassins dimensionnés pour plusieurs débits. La chute entre bassins est généralement de 30 cm.

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

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

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

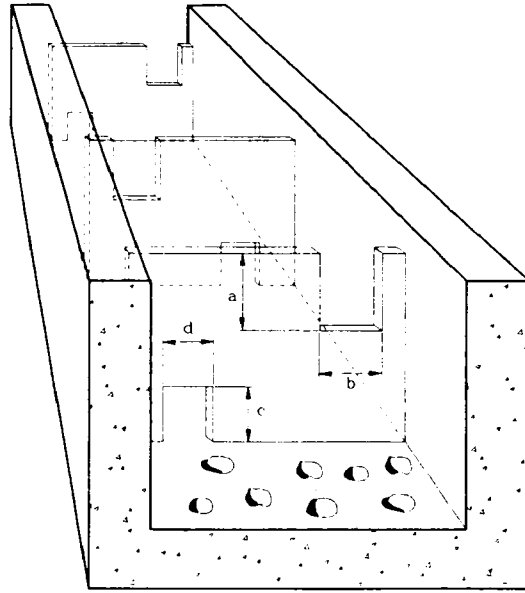
10.3. Passe à poissons blancs et à truites (Allemagne, Suisse)

Les passes à bassins à échancrures de surface et à orifices noyés rectangulaires ont été fréquemment utilisées en Allemagne et en Suisse. On a reporté sur la figure 6 les caractéristiques des bassins données par JENS (1982) pour les passes à truites et les passes pour poissons blancs de cours d'eau de deuxième catégorie.

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

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

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



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

Figure 6 : Caractéristiques d'une passe à bassins allemande pour poissons blancs et truites (d'après JENS, 1982).

Figure 6 : Characteristics of a pool-type fishway used in Germany for white fish and trout (from JENS, 1982).

10.4. Passe à fentes verticales

Ce type de passe (Fig. 7) a été mis au point suite à plusieurs études sur modèles réduits pour permettre au saumon de franchir les rapides de Hell's Gate sur la rivière Fraser au Canada (CLAY, 1961). Le modèle original consistait en une succession de vastes bassins de 5.5 m de longueur et 6.1 m de largeur comportant deux fentes verticales de 60 cm de largeur. Les jets issus des fentes convergent et se rencontrent dans la partie centrale, procurant une dissipation d'énergie efficace et créant des zones calmes sur chaque côté du bassin et à l'aval immédiat des cloisons. De nombreuses passes, basées sur le même principe mais ne comportant le plus souvent qu'une seule fente, ont été construites un peu partout dans le monde (CLAY, 1961 ; ANDREW, 1990).

La géométrie de la fente, le fait que les arêtes soient vives ou plus ou moins arrondies, la hauteur du seuil ainsi que de la hauteur d'eau au niveau de la fente influent sur le coefficient de débit (PERKINS, 1973 ; RAJARATNAM et al., 1984 ; LENNE, 1990) qui peut varier de 0.65 à plus de 0.85 (CLAY, 1961).

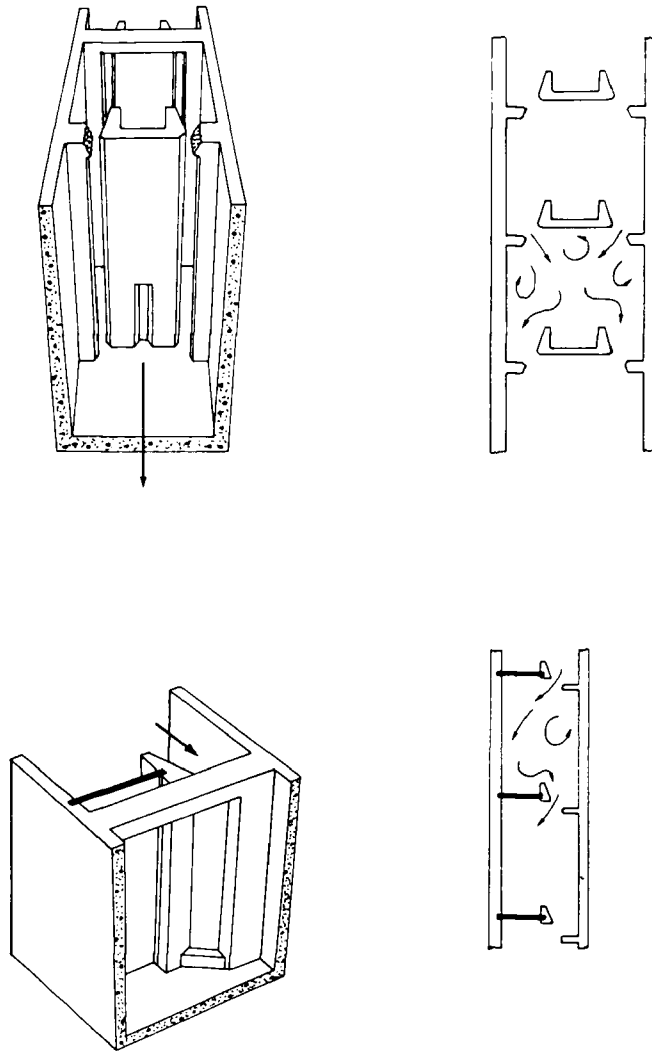


Figure 7 : Passe à une et deux fentes verticales.

Figure 7 : Single and paired vertical slot fishway.

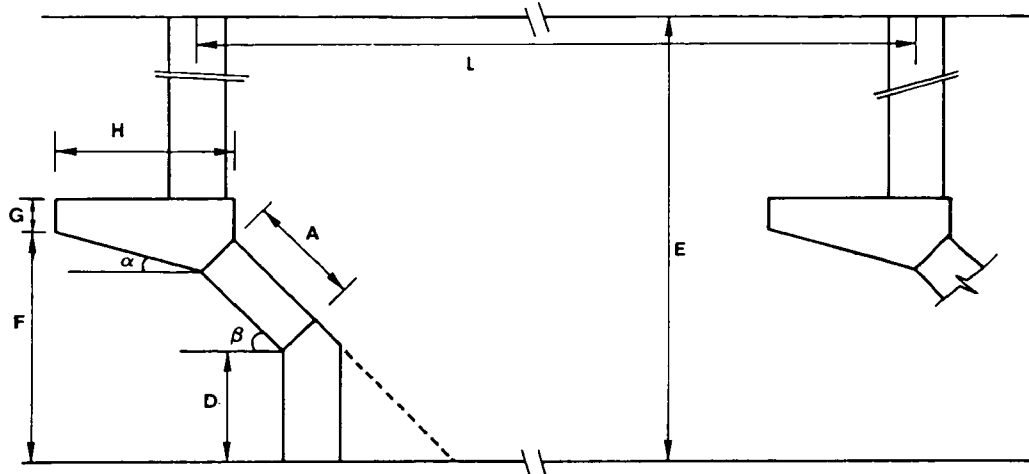
Les coefficients de débit des passes à fentes verticales étudiées sur modèle réduit en France sont de l'ordre de 0.65-0.70. Ces valeurs relativement basses peuvent s'expliquer par le fait que le profil des fentes se caractérise par des arêtes vives, alors que celles utilisées aux USA sont généralement arrondies (RIZZO, 1986).

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

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

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

On a porté sur la figure 8 les caractéristiques géométriques de quelques passes à fentes verticales réalisées récemment et qui ont fait pour la plupart l'objet d'études sur modèle (I.M.F.T., 1982, 1983, 1986, 1988 ; LENNE, 1990).



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

Figure 8 : Caractéristiques géométriques des passes à fentes verticales.

Figure 8 : Geometrical characteristics of a vertical slot fishway.

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

Des essais ont été effectués sur modèle (LENNE, 1990) en vue de simplifier la géométrie des déflecteurs et la mise en place des cloisons, et de proposer une fente verticale-type dont toutes les caractéristiques sont données en fonction de la largeur de la fente (Fig.9).

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

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

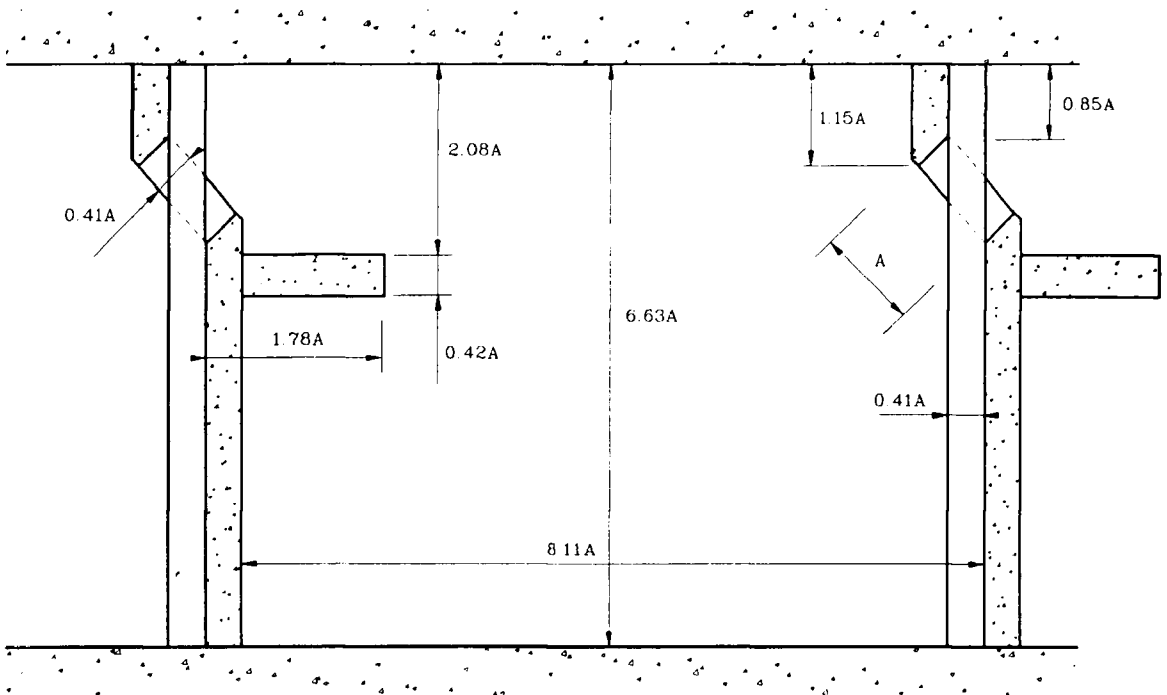


Figure 9 : Caractéristiques géométriques des passes à fentes verticales simplifiées.

Figure 9 : Characteristics of a simplified vertical slot fishway.

10.5. Passe à échancrures triangulaires

Le concept de passes à bassins à seuils triangulaires a été développé pour obtenir des ouvrages susceptibles de fonctionner dans une large gamme de débits et de niveaux amont sans qu'il soit nécessaire d'ajouter un débit d'appoint dans la section aval ou un dispositif régulant le débit à l'amont. En étiage, la passe se comporte comme une passe classique avec un jet plongeant, l'énergie se dissipant dans chaque bassin. En hautes eaux, un jet de surface à forte vitesse se forme dans la partie centrale de la passe tandis que l'écoulement latéral, demeurant à "jet plongeant", reste praticable pour le poisson. La passe triangulaire se comporte comme une passe à bassins successifs en basses eaux et un chenal rugueux en hautes eaux. Il ne peut donc être question de raisonner en terme de puissance dissipée volumique maximale au niveau d'un bassin. Ce système de passe triangulaire a été développé sur la côte Ouest des USA (BATES, 1990). On donne sur la

figure 10 les caractéristiques de la passe du barrage de Town sur la rivière Yakima. La pente d'un tel ouvrage est voisine de 10 % et elle peut transiter un débit voisin de $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Le fruit du seuil triangulaire est de $1/3$.

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

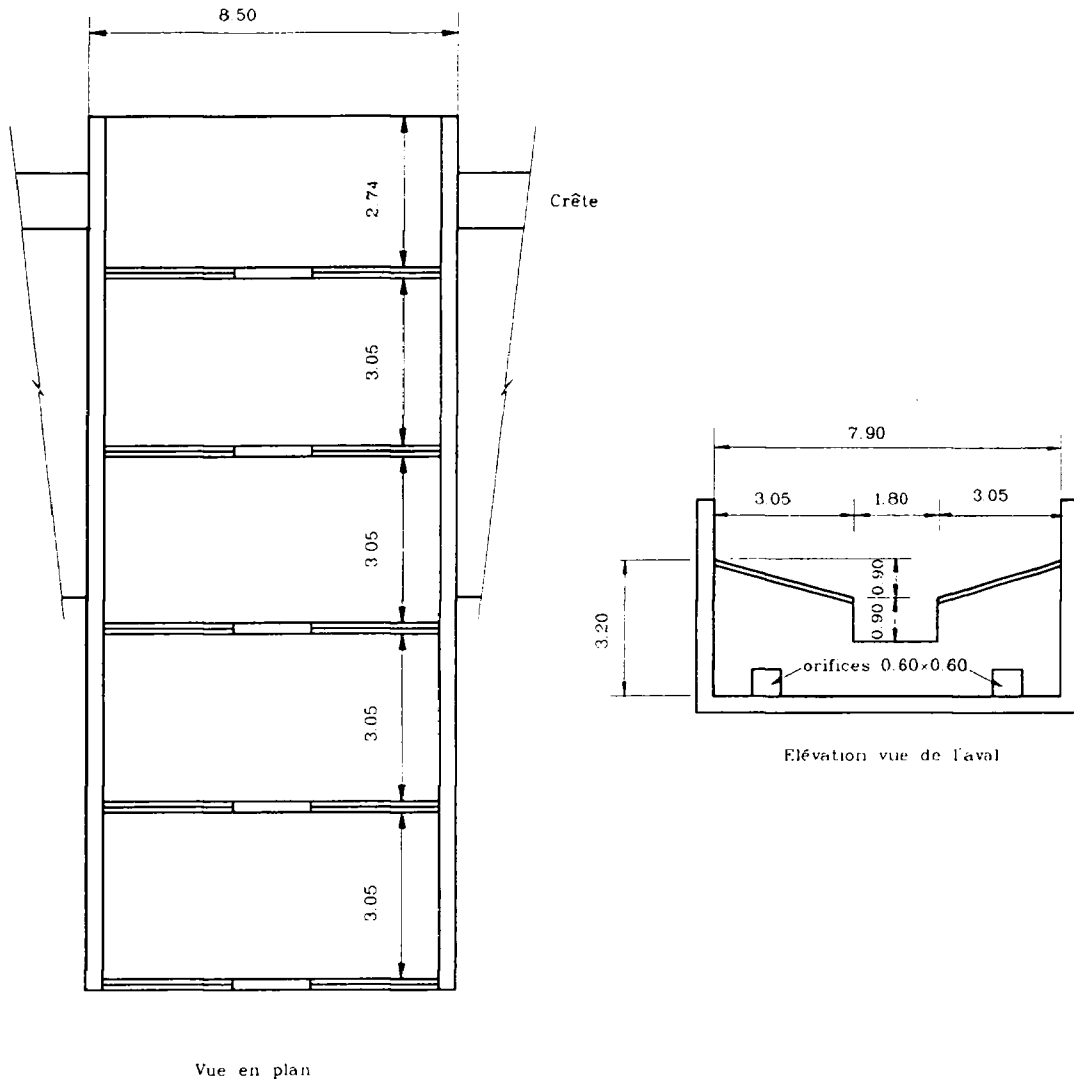


Figure 10 : Caractéristiques géométriques des passes à seuils triangulaires (d'après BATES, 1990).

Figure 10 : Pool and chute fishway (from BATES, 1990).

11. Les prébarrages

Les prébarrages (Fig.11) constituent souvent une solution élégante pour résoudre le problème de franchissement sur les obstacles de faible hauteur. Ils sont formés de plusieurs murs ou seuils créant à l'aval de l'obstacle des grands bassins qui fractionnent la chute à franchir. Ces prébarrages sont généralement installés à proximité de l'une des deux rives pour en faciliter l'entretien. Sur les petits cours d'eau, ils peuvent être implantés sans inconvénient sur toute la largeur de l'obstacle.

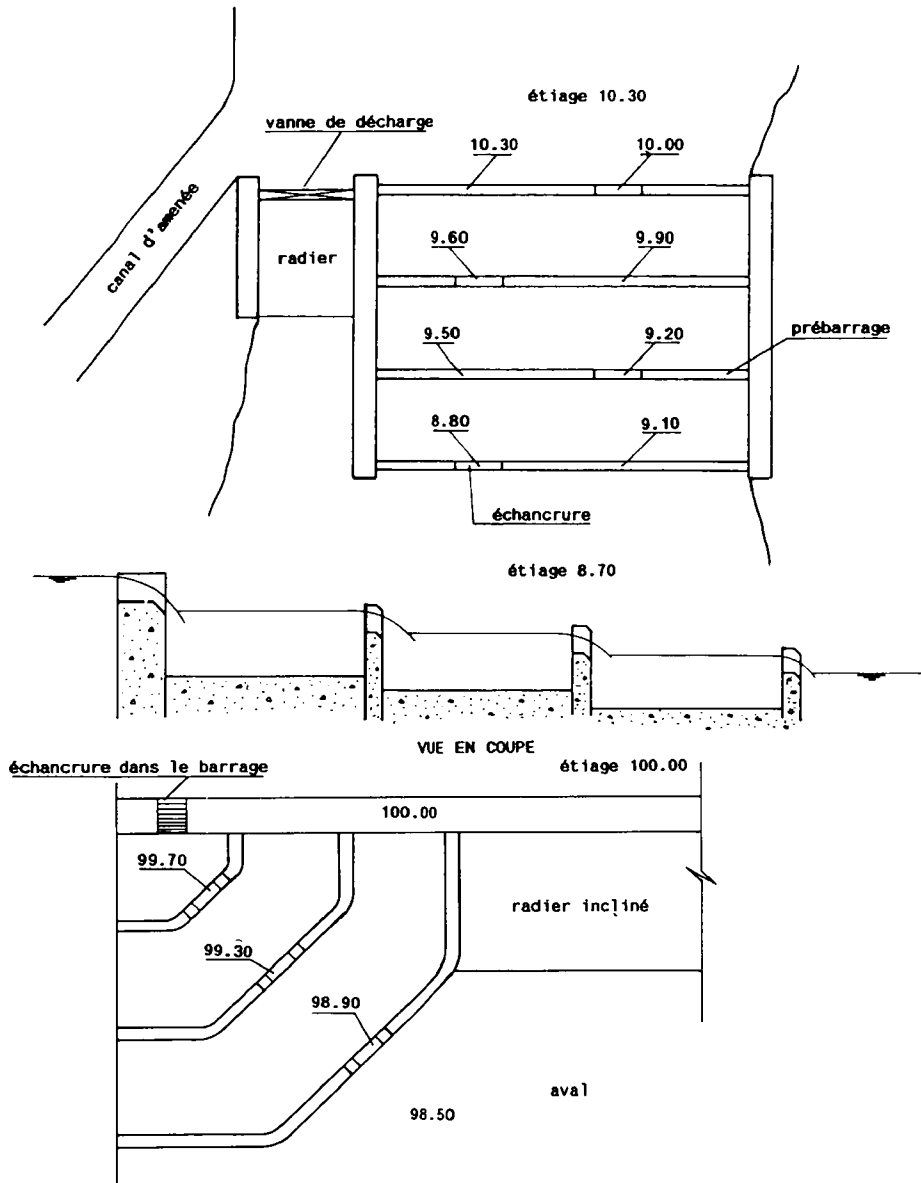


Figure 11 : Schéma de principe de prébarrages implantés sur une fraction ou la totalité de la largeur du cours d'eau.

Figure 11 : Schematic plans illustrating weirs stepped down to form fishways extending over a part or all of the width of the stream.

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

Lors du dimensionnement des prébarrages, il convient :

— d'assurer, quel que soit le débit dans le cours d'eau, une charge suffisante sur les murs pour permettre le passage du poisson. On concentrera généralement le débit d'étiage dans une échancrure en ménageant une charge de l'ordre de 0.20 à 0.30 m,

— de maintenir les chutes d'un bassin à l'autre à peu près constantes lorsque le niveau d'eau amont s'élève. Lorsque le prébarrage est installé sur l'une des rives, l'ouvrage absorbe un débit croissant de l'amont vers l'aval. On tiendra compte de ce point pour déterminer les cotes des murs ainsi que les longueurs déversantes qui seront dimensionnées en fonction des apports intermédiaires dans les bassins,

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

— de veiller à la stabilité de l'ouvrage dans le temps et de se prémunir des phénomènes d'érosion, soit en bétonnant les radiers entre bassins, soit en prévoyant des murs parafeuilles d'une profondeur suffisante,

— de donner aux bassins une profondeur suffisante. On donnera dans la mesure du possible une profondeur minimale égale à deux fois la chute.

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

Le poisson n'ayant à franchir que quelques bassins, on pourra adopter des limites sur les puissances dissipées volumiques supérieures à celles adoptées pour les passes à bassins successifs : on calera le prébarrage à des valeurs voisines de 50 watts/m³ en étiage et on pourra adopter une valeur proche de 500 watts/m³ pour la limite supérieure de fonctionnement des grands prébarrages de plusieurs dizaines de m³.

On a porté sur la figure 11 quelques configurations de prébarrages.

Les prébarrages sont généralement adoptés pour les rivières à salmonidés. L'écoulement étant à "jet plongeant", on évitera ce type de dispositif pour les cours d'eau à poissons blancs et à aloses.

12. LES RIVIÈRES ARTIFICIELLES

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

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

Il existe actuellement en France, en fonctionnement ou en projet, une dizaine de dispositifs de franchissement assimilables à des rivières artificielles (Gave de Pau, Adour, Yonne, Allier...) et il est à prévoir dans les prochaines années un recours un peu plus fréquent à ce type de dispositif de franchissement très écologique. Leur généralisation se heurtera cependant à la faiblesse de leur pente (de l'ordre de quelques pour cent), se traduisant par des longueurs importantes, et à leur impossibilité de s'adapter à des

variations du niveau amont notables sans dispositifs spéciaux (vanne, clapet...). Ces dispositifs de régulation peuvent induire localement des chutes ou des mises en vitesse infranchissables par le poisson : il conviendra alors d'installer une passe à poissons classique court-circuitant le dispositif de régulation pour permettre au migrateur de sortir de l'ouvrage quelles que soient les conditions du niveau amont.

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

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

On peut distinguer deux types de rivières artificielles :

— celles où la dissipation d'énergie est concentrée au niveau de chutes engendrées par des seuils régulièrement espacés. Ces seuils créent une succession de bassins d'une longueur telle que toute l'énergie se dissipe avant la chute suivante,

— celles où la dissipation d'énergie est moins localisée et s'effectue plus ou moins régulièrement tout au long du dispositif par rugosité et pertes de charges singulières (épis, blocs...).

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

Les passes à seuils triangulaires (BOITEN, 1990) utilisées sur la Meuse et ses affluents aux Pays-Bas, compte tenu de leur faible pente (3.33 %) et de leur importance, s'apparentent plus à des rivières artificielles qu'à des passes à bassins classiques (Fig.12).

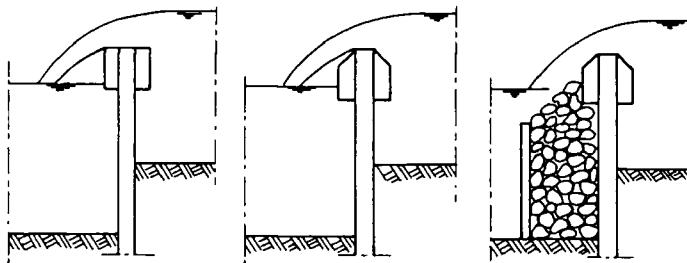
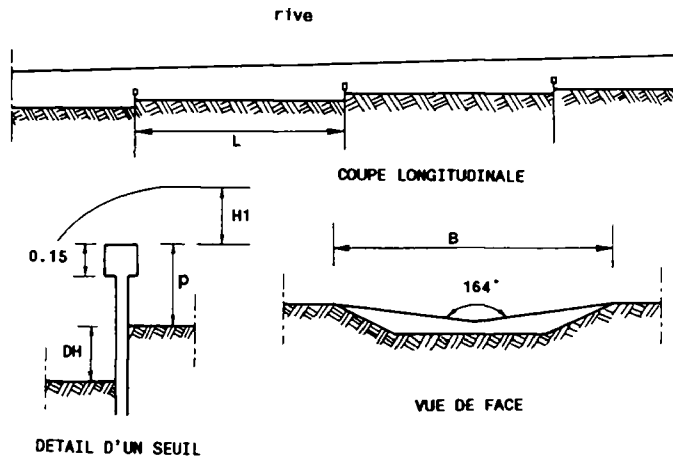
Les règles de dimensionnement proposées par le concepteur sont issues des échelles de similitude utilisées en hydraulique : à partir de l'optimisation d'une passe à profil triangulaire sur modèle réduit (à pente fixe), une extrapolation a été faite en faisant varier l'échelle de similitude et un certain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

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

On a donné dans la figure 12 les caractéristiques des bassins, pour plusieurs débits de dimensionnement Q , sachant que la passe fonctionne pour un débit variant de $0.5 Q$ à Q (soit une charge amont variant entre $0.75 H_1$ et H_1). La marge de fonctionnement d'un tel ouvrage est très limitée : elle est d'une dizaine de cm pour une passe dimensionnée pour $2 \text{ m}^3/\text{s}$ et demeure en deçà de 20 cm pour une passe dimensionnée pour $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Les puissances dissipées volumiques dans l'ouvrage restent inférieures à $100 \text{ watts}/\text{m}^3$.

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

On donne sur la figure 13 les caractéristiques d'une rivière artificielle sur l'Adour constituée de bassins de 8 mètres de longueur séparés par des seuils en enrochements à profils triangulaires.



DIFFERENTS PROFILS DE CRETES DEVERSANTES

Débit (m ³ /s) Q (9.8 H ^{1.5})	Chute DH (0.475 H ₁)	Dimensions (m)		P (m) (0.76 H ₁)	Charge H ₁ (m)
		L (14.2 H ₁)	B (18.8 H ₁)		
1.14	0.20	6	8	0.32	0.42
2	0.25	7.5	10	0.40	0.53
3.15	0.30	9	12	0.48	0.63
5.51	0.375	11.25	15	0.60	0.79

Figure 12 : Rivière artificielle à seuils triangulaires utilisée aux Pays-Bas (d'après BOITEN, 1990).

Figure 12 : Layout of the V-shaped pool fishway used in the Netherlands (from BOITEN, 1990).

La pente est de 5 %, ce qui peut être considéré comme une limite de la pente envisageable pour ce type d'ouvrage. Le débit varie de 900 l/s à près de 3 m³/s pour une variation du niveau amont d'une trentaine de centimètres, les puissances dissipées volumiques variant alors de 90 watts/m³ à 250 watts/m³. Les chutes entre bassins sont de 0.40 m. Ce type de passe est avant tout réservé aux salmonidés et aux cyprinidés d'eau vive.

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

Dans le projet de la rivière artificielle du Lac des Gaves (I.M.F.T., 1991), l'énergie est pour partie dissipée localement au niveau de chutes et pour partie par rugosité au niveau du lit et des berges. L'ouvrage est constitué d'une série de biefs de section trapézoïdale (largeur au plafond de 1.20 m à 2.80 m), de 43 m de longueur, de pente 0.3 %, et d'une

profondeur voisine de 0.80 m ; entre chaque tronçon est placé un bassin de dissipation d'énergie (et de repos pour les poissons) de 5 m de longueur au droit duquel est concentrée une chute voisine de 0.30 m. La pente générale de l'ouvrage est d'environ 0.9 %, le débit variant de 1.5 m³/s dans la partie amont à 4 m³/s dans sa partie aval après adjonction d'un débit complémentaire. Les matériaux constituant la rivière sont choisis parmi la fraction granulométrique la plus grossière des alluvions du Gave. Les vitesses d'écoulement dans la rivière augmentent cependant très rapidement avec le débit, ce qui a rendu indispensable l'installation d'un clapet en tête de l'ouvrage pour maintenir le débit relativement constant. Une petite passe à bassins successifs à orifices noyés permet au poisson de franchir la singularité créée par la fermeture partielle de ce clapet en hautes eaux.

Un type voisin de rivière artificielle, dont la pente est généralement comprise entre 1 % et 1.5 %, est utilisé au Danemark (LONNEBJERG, 1990). L'aménagement réalisé à Holstebro, d'une longueur de 655 m, permet de franchir une chute de 5 mètres. La section est trapézoïdale (plafond 2.5 m), les fonds et les parois sont recouverts de blocs de 15 à 20 cm ; sur le fond et le long des bords sont disposés à intervalles réguliers (tous les 2 m) des blocs de dimensions plus importantes (50 cm) qui ont pour objet d'augmenter la rugosité du lit tout en créant des zones de repos bien individualisées pour le poisson. Le débit est régulé suivant la saison entre 0.4 m³/s et 1 m³/s en période de migration. L'ouvrage dispose de 6 bassins de repos régulièrement espacés. Dans ce dispositif, la majeure partie de l'énergie est dissipée par rugosité sur le fond et les parois.

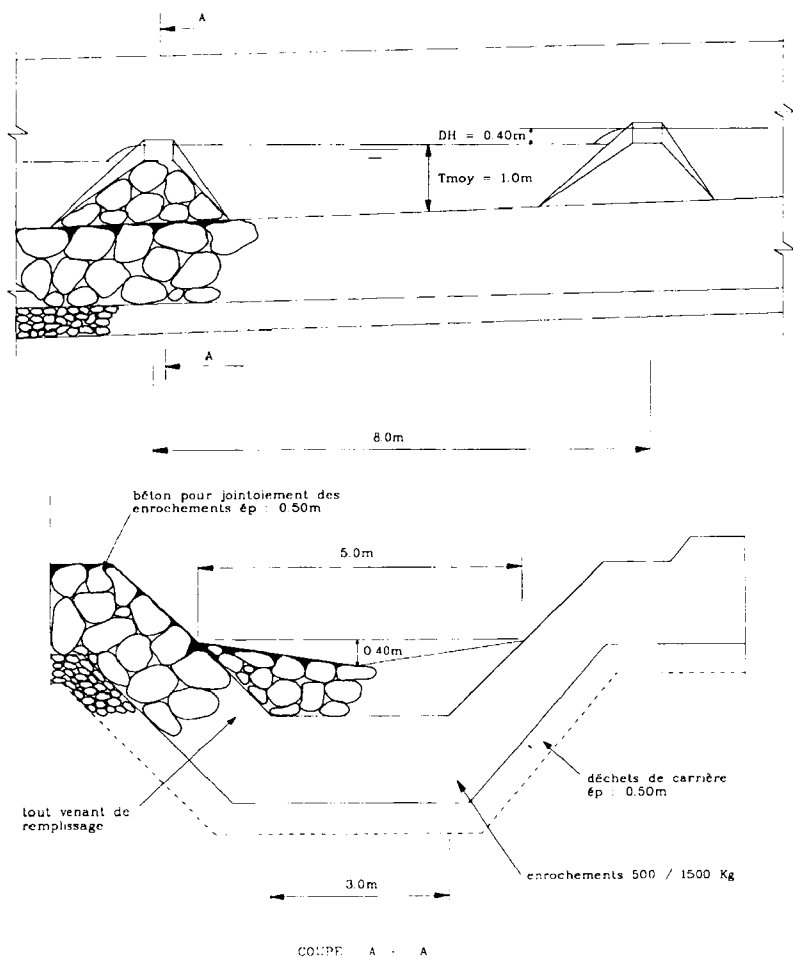


Figure 13 : Rivière artificielle à seuils en enrochements.
Figure 13 : Artificial fishway channel with rock-fill sills.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDREW F.J., 1990. The use of vertical-slot fishways in British Columbia, Canada. Proc. Int. Symp. on fishways, Gifu, Japan, 267-274.
- BATES K., 1990. Recent experience in cost efficient fish passage in Washington state. Proc. Int. Symp. on fishways, Gifu, Japan, 335-341.
- BELL M.C., 1986. Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria. Fish. Eng. Res. Prog., U.S. Army Corps of Eng., North Pacific Div., Portland, Oregon, 290 p.
- BOITEN W., 1990. Hydraulic design of the pool-type fishway with V-shaped overfalls. Proc. Int. Symp. on fishways, Gifu, Japan, 335-341.
- CLAY C.H., 1961. Design of fishways and other fish facilities. Dept. of Fisheries, Ottawa, Canada, 301 p.
- I.M.F.T., 1982. Seuil de Belleville. Etude sur modèle réduit de la passe à poissons. Rapp. 391-3, 19 p.
- I.M.F.T., 1983. Barrage de Bergerac. Etude sur modèle réduit de l'échelle à poissons. Rapp. 411, 109 p.
- I.M.F.T., 1986. Etude sur modèle réduit de la passe à poissons à l'usine du Ramier. Rapp. 427-1, 44 p.
- I.M.F.T., 1988. Passe à poissons de l'usine hydroélectrique du Bazacle. Etude sur modèle réduit. Rapp. 442-1, 18 p.
- I.M.F.T., 1991. Etude hydraulique d'une rivière artificielle. Application au Lac des Gaves. Rapp. Hydre 33, 9 p.
- JENS G., 1982. Der Bau von Fishwegen. Hamburg und Berlin. P. Parey (Ed.), 92 p.
- LENNE D., 1990. Circulation des poissons migrateurs : franchissement des buses et étude hydraulique des passes à bassins successifs. ENITRS CEMAGREF, 70 p.
- LONNEBJERG N., 1990. Fishways in Denmark. Proc. Int. Symp. on fishways, Gifu, Japan, 253-257.
- PERKINS L.Z., 1973. Fish ladders for lower monumental dam, Snake river, Washington : hydraulic model investigations. U.S. Army Eng. Div., Corps of Eng., Rep. 109-1, 16 p.
- PHILIPPE L., 1897. Rapport sur les échelles à poissons. Ministère de l'Agriculture, Commission des Améliorations Agricoles et Forestières, 27 p.
- RAJARATNAM N., VAN DE VINNE G., KATOPODIS C., 1986. Hydraulics of vertical slot fishways. J. Hydr. Eng., 112 : 909-927.
- RIDEOUT S., THORPE L., CAMERON L., 1985. Passage of american shad in an Ice Harbor style fish ladder after flow modifications. Symp. on small hydropower and fisheries, Aurora, Colorado, 251-256.
- RIZZO B., 1969. Fish passage facilities design parameters for Connecticut river dams. Turners Falls dam. Bureau of Sport Fisheries and Wildlife, Boston, Massachusetts, 32 p.
- RIZZO B., 1986. Fish passage design information. Fish passageways and diversion facilities course, Merrimack, New Hampshire, 26 p.



Photo 1 : Passe de type Ice Harbor au barrage de Vernon (rivière Connecticut, USA)



Photo 2 : Passe de type Ice Harbor au barrage de Vernon (rivière Connecticut, USA)

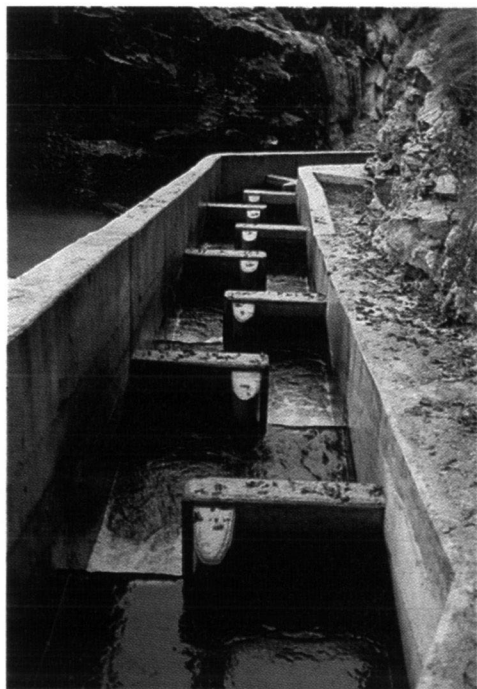


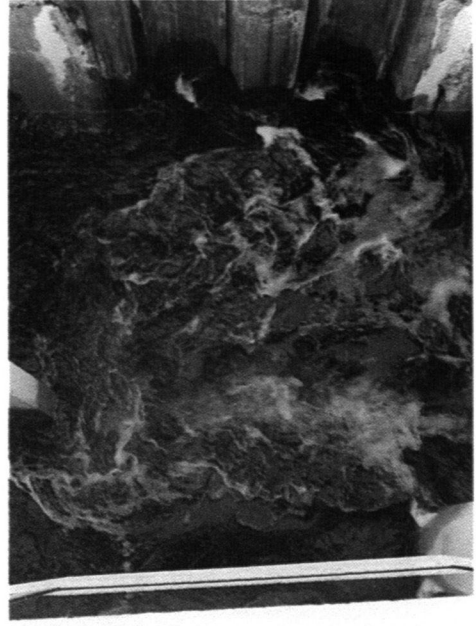
Photo 3 : Passes à salmonidés à "jet plongeant" au barrage de Cau aval (Gave d'Ossau, Pyrénées-Atlantiques)



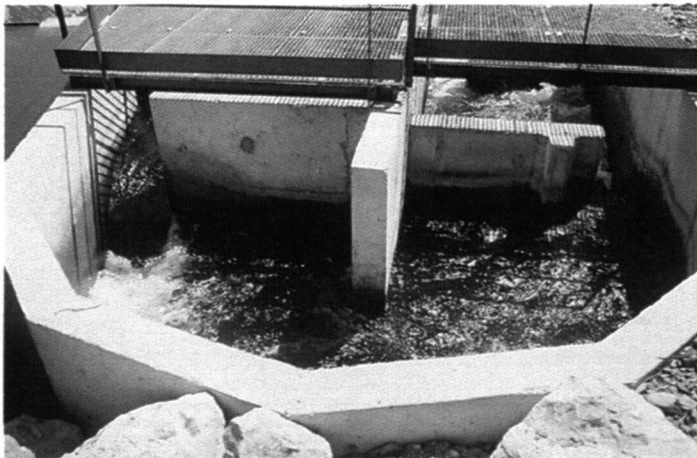
Photo 4 : Passe à échancrures demi-circulaire au barrage du Hom sur l'Orne



**Photo 5 : Passe à fentes verticales de
Mauzac sur la Dordogne**



**Photo 6 : Passe à fentes verticales au
barrage de Poses sur la Seine**



**Photo 7 : Suppression des angles droits dans un bassin de
changement de direction à 180° dans une passe à
échancres latérales**

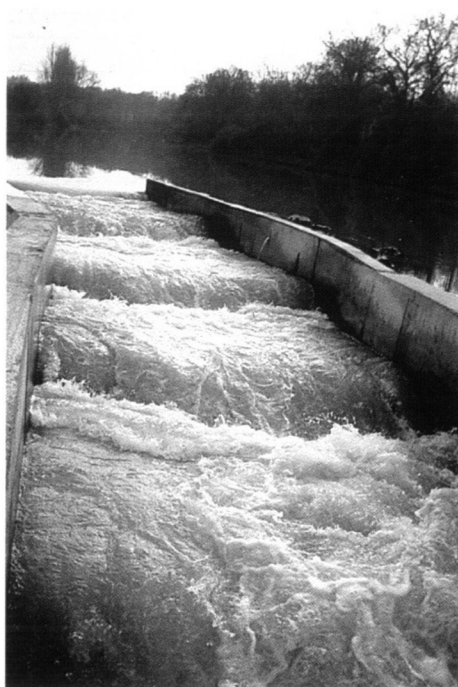


Photo 8 : Passe à seuils triangulaires sur l'Adour à Onard (Landes)



Photo 9 : Prébarrages de Sinsat sur l'Ariège



Photo 10 : Rivière artificielle à seuils triangulaires sur le Roer (Pays-Bas)



Photo 11 : Rivière artificielle de Biron sur le Gave de Pau (Pyrénées-Atlantiques)