CHAPITRE 6

LES PASSES A RALENTISSEURS

M. LARINIER

CSP-CEMAGREF, GHAAPE - Institut de Mécanique des Fluides
Avenue du Professeur Camille Soula - 31400 TOULOUSE

1. PRINCIPE

Les premières passes à ralentisseurs furent mises au point en Belgique par Denil pour permettre aux saumons de franchir le barrage d'Angleur sur l'Ourthe (DENIL, 1909). Le principe consiste à disposer, dans un canal rectiligne à pente relativement forte et de section rectangulaire, des déflecteurs sur le fond et/ou les parois, destinés à réduire les vitesses moyennes de l'écoulement.

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

Les expériences sur modèle réduit initiées par DENIL (DENIL, 1936-1938) ont été reprises et complétées par la suite dans le but de simplifier la forme des ralentisseurs tout en conservant une efficacité hydraulique suffisante. On citera MCLEOD et NEMENYI (1940) aux USA, WHITE et NEMENYI (1942) en Grande-Bretagne, et plus récemment LARINIER (1978, 1983), LARINIER et MIRALLES (1981) en France, LONNEBJERG (1980) au Danemark, RAJARATNAM ET KATOPODIS (1984, 1990), RAJARATNAM *et al.* (1985, 1987) au Canada.

2. CARACTÉRISTIQUES ET FONCTIONNEMENT

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

Les caractéristiques géométriques des ralentisseurs sont données sous forme adimensionnelle : toutes les dimensions sont rapportées à une longueur caractéristique (largeur du canal ou hauteur du ralentisseur). Il est impératif de ne pas s'écarter des caractéristiques géométriques données car toute modification — que ce soit dans la forme ou l'écartement des ralentisseurs — peut se traduire par une altération notable de la structure de l'écoulement qui peut s'avérer préjudiciable à l'efficacité du dispositif.

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

— **plage de fonctionnement "hydraulique"** : un débit minimum est nécessaire pour que se forment les courants hélicoïdaux. En dessous de cette valeur, la passe se comporte comme une mini-passe à bassins successifs. Au-delà d'un certain débit, fonction de la pente, du type et de la dimension des ralentisseurs, on note l'apparition d'ondes qui balaient la passe de l'amont vers l'aval, les courants hélicoïdaux ne se formant plus qu'épisodiquement ; l'écoulement passe progressivement en régime torrentiel, les ralentisseurs ne remplissant plus leur rôle,

— **plage de fonctionnement "biologique"** : les passes à ralentisseurs sont adaptées à certaines espèces et certaines tailles de migrateurs. Le domaine d'utilisation des ralentisseurs (pente, dimensions des ralentisseurs, débits dans la passe) pour une

espèce migratrice donnée ne peut s'acquérir que par le retour d'expérience de passes testées *in situ*.

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

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

— une augmentation de la dimension des ralentisseurs, la pente restant constante, se traduit par une augmentation de la dimension des courants hélicoïdaux et parallèlement par une augmentation des vitesses. Si la taille de ces courants devient importante comparée à celle des migrateurs, cela peut nuire à l'efficacité de la passe : le poisson aura tendance à s'orienter par rapport aux composantes locales de la vitesse et à se heurter aux ralentisseurs,

— une réduction de la taille des ralentisseurs ne peut se faire sans inconvénients, la **plage de fonctionnement "hydraulique"** des ralentisseurs, exprimée en variation acceptable de la charge amont, étant, elle aussi, **proportionnelle à leurs dimensions**.

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

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

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

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

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

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

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

3. INTÉRÊT ET LIMITE DES PASSES A RALENTISSEURS

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

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

Les passages des poissons de petite taille ont cependant été observés dans des passes à ralentisseurs. Certains ont eu lieu lorsque la passe était notablement sous-alimentée (débit inférieur à la valeur d'amorçage des courants hélicoïdaux), la passe fonctionnant alors comme une mini-passe à bassins (C.S.P., 1989) et les poissons pouvant se reposer dans l'espace inter-ralentisseurs. Dans les autres cas, lorsque la passe est correctement alimentée, il est possible que certains poissons utilisent des zones suffisamment calmes entre les ralentisseurs et parviennent à franchir la passe de proche en proche (SCHWALME et MCKAY, 1985).

4. LES DIFFÉRENTS TYPES DE PASSES A RALENTISSEURS

4.1. Généralités

On distingue trois types de passes à ralentisseurs :

— les passes dans lesquelles les ralentisseurs sont disposés uniquement sur le fond d'un canal horizontal ; on peut alors adopter des passes de grande largeur en reproduisant plusieurs fois le motif "unitaire" du ralentisseur. Ces passes à ralentisseurs de fond peuvent absorber des débits très variables, mais elles ont néanmoins l'inconvénient de ne tolérer qu'une variation modérée du niveau amont, les vitesses augmentant rapidement avec la charge sur le ralentisseur amont,

— les passes dans lesquelles les ralentisseurs sont situés à la fois sur le fond et sur les côtés. Elles ont l'avantage de tolérer des variations de niveaux plus importantes mais, comme la taille du migrateur limite généralement la dimension des ralentisseurs, et par conséquent leur largeur, leur débit est limité et ne peut excéder quelques centaines de l/s,

— les passes dans lesquelles les ralentisseurs sont situés uniquement sur les côtés (LARINIER et MIRALLES, 1981). Elles ont l'avantage de tolérer des variations de niveaux importantes et sont susceptibles de transiter des débits notables. Elles présentent par ailleurs une très bonne efficacité mais possèdent l'inconvénient majeur d'être très vulnérables au colmatage par les branches. C'est la raison pour laquelle elles ont été très peu utilisées.

4.2. Passes à ralentisseurs plans

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

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

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

Les caractéristiques géométriques sont données sur la figure 1.

La figure 2 donne sous forme adimensionnelle pour plusieurs pentes (I) la relation entre le débit $Q^* = Q/(\sqrt{g}L^{2.5})$, la charge amont (h_a/L), le tirant d'eau moyen (h/L), et la vitesse débitante $V^* = V/\sqrt{g}$.

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

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

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

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

Pour les **grands salmonidés migrateurs**, on adopte généralement comme pente maximale 20 % et pour (L), largeur interne de la passe, des valeurs comprises entre 0.80 m et 1 m. Sur quelques aménagements, des valeurs plus importantes de L ont été adoptées (1.20 m et 1.30 m). On n'a cependant pas intérêt à choisir des dimensions de ralentisseurs aussi importantes car cela oblige parallèlement à réduire la pente (de façon à maintenir des vitesses et des niveaux d'aération et de turbulence acceptables) et cela pénalise les individus les plus petits (augmentation de la dimension des courants hélicoïdaux et de la longueur des volées).

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

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

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

On a porté sous forme dimensionnelle sur la figure 3 la relation entre le débit (Q), la charge amont (h_a), le tirant d'eau moyen (h), et la vitesse débitante (V) pour une passe à saumon de 0.90 m de largeur et une passe à truite de 0.60 m de largeur et de pente 20 %.

Figure 1 : Paramètres caractéristiques de la passe à ralentisseurs plans.
Figure 1 : Characteristic parameters of the fishway with plain baffles.

Figure 2 : Relation entre le débit, la charge amont, le tirant d'eau moyen et la vitesse débitante pour la passe à ralentisseurs plans.

Figure 2 : Relation between flow, upstream head, mean depth and velocity for the plain baffle fishway.

Figure 3 : Relation entre le débit, la charge amont, le tirant d'eau moyen et la vitesse débitante pour des passes à ralentisseurs plans de largeur 0.90 m et 0.60 m et de pente 20 %.

Figure 3 : Relation between flow, upstream head, mean depth and velocity for 0.90 m and 0.60 m wide plain baffles fishways with a 20 % slope.

4.3. Passes à ralentisseurs de type Fatou

La passe Fatou est directement inspirée du modèle original mis au point par Denil (DENIL, 1909). Elle est très efficace d'un point de vue hydraulique. Elle présente cependant deux inconvénients majeurs : sa difficulté de construction liée à la forme des ralentisseurs et sa sensibilité au colmatage par les branches et autres corps dérivants. En outre, l'efficacité hydraulique des ralentisseurs ne laisse subsister qu'une énergie cinétique limitée se traduisant par un jet peu marqué à l'entrée de la passe, d'où une attractivité modérée. Dans la mesure où son domaine d'utilisation est très voisin de la passe à ralentisseurs plans, on lui préfère généralement cette dernière.

Les caractéristiques géométriques sont données sur la figure 4.

La figure 5 donne sous forme adimensionnelle pour plusieurs pentes (l) la relation entre le débit $Q^* = Q/(\sqrt{g}L^{2.5})$, la charge amont (h_a/L), le tirant d'eau moyen (h/L), et la vitesse débitante $V^* = V/\sqrt{g}$.

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

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

On a porté sous forme dimensionnelle sur la figure 6 la relation entre le débit (Q), la charge amont (h_a), le tirant d'eau moyen (h), et la vitesse débitante (V) pour une passe à saumons de 0.90 m de largeur et une passe à truites de 0.60 m de largeur et de pente 20 %.

Figure 4 : Paramètres caractéristiques de la passe à ralentisseurs de type Fatou.

Figure 4 : Characteristic parameters of the fishway with Fatou-type baffles.

Figure 5 : Relation entre le débit, la charge amont, le tirant d'eau moyen et la vitesse débitante pour la passe à ralentisseurs de type Fatou.

Figure 5 : Relation between flow, upstream head, mean depth and velocity for the fishway with Fatou-type baffles.

Figure 6 : Relation entre le débit, la charge amont, le tirant d'eau moyen et la vitesse débitante pour des passes à ralentisseurs de type Fatou de largeur 0.60 m et 0.90 m et de pente 20 %.

Figure 6 : Relation between flow, upstream head, mean depth and velocity for 0.90 m and 0.60 m wide Fatou-type baffles fishways with a 20 % slope.

4.4. Passes à ralentisseurs de fond suractifs

Cette passe ne comporte que des ralentisseurs de fond s'arrêtant à un plan parallèle à celui du couloir. Ces ralentisseurs peuvent donc se disposer par bandes longitudinales juxtaposées en nombre indéfini. Il convient, pour stabiliser l'écoulement, de séparer chaque rangée de ralentisseurs par une bande longitudinale de même hauteur. Ce type de ralentisseurs a été mis au point sur modèle (LARINIER et MIRALLES, 1981) en s'inspirant du modèle RIRO (DENIL, 1936-1938 ; LARINIER, 1977) adopté au barrage de Roermond sur la Meuse en Belgique. Elle est principalement utilisée en France. Les ralentisseurs sont en tôle (épaisseur 8 mm à 10 mm) et leur hauteur varie de 0.08 m à 0.20 m.

Les caractéristiques géométriques sont données sur la figure 7.

La figure 8 donne sous forme adimensionnelle pour plusieurs pentes (l) la relation entre le débit unitaire $q^* = q/(\sqrt{2ga}^{1.5})$, la charge amont (h_a/a), le tirant d'eau moyen (h/a), et la vitesse débitante $V^* = aq^*/h$.

a est la hauteur des ralentisseurs exprimée en mètres.

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

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

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

La largeur de la passe pouvant être très variable, les abaques permettent de calculer q, débit par mètre de largeur en fonction de h_a . Le débit Q (m³/s) s'écoulant dans une passe comportant sur la largeur un nombre N de motifs de ralentisseurs de hauteur (a) peut être aisément calculé à partir du débit unitaire (q) par l'expression suivante :

$$Q = 6 a N q$$

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

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

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

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

On a porté sous forme dimensionnelle sur la figure 9 la relation entre le débit unitaire (q), la charge amont (h_a), le tirant d'eau moyen (h), et la vitesse débitante (V) pour une passe à saumon ayant des ralentisseurs de 0.15 m de hauteur et une passe à truite ayant des ralentisseurs de 0.10 m de hauteur et de pente 15 %. La marge de fonctionnement pour la passe à grands salmonidés exprimée en débit unitaire devrait se situer entre 250 l/s/m et 1400 l/s/m (soit une variation du niveau amont de l'ordre de 50 à 60 cm). La marge de fonctionnement pour la passe à truite devrait se situer entre 150 l/s/m et 500 l/s/m (soit une variation du niveau amont inférieure à 30 cm).

Figure 7 : Paramètres caractéristiques de la passe à ralentisseurs de fond de type "suractifs".

Figure 7 : Characteristic parameters of the fishway with superactive-type bottom baffles.

Figure 8 : Relation entre le débit, la charge amont, le tirant d'eau moyen et la vitesse débitante pour la passe à ralentisseurs de fond de type "suractifs".

Figure 8 : Relation between flow, upstream head, mean depth and velocity for the fishway with superactive-type bottom baffles.

Figure 9 : Relation entre le débit, la charge amont, le tirant d'eau moyen et la vitesse débitante pour des passes à ralentisseurs de fond de type "suractifs" de 0.15 m et de 0.10 m de hauteur et de pente 15 %.

Figure 9 : Relation between flow, upstream head, mean depth and velocity for 0.15 m and 0.10 m high superactive-type bottom baffles fishways with a 15 % slope.

4.5. PASSES A RALENTISSEURS A CHEVRONS ÉPAIS DITES "PASSES MIXTES POISSONS - CANOËS-KAYAKS"

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

Des essais sur modèle réduit ont permis d'adapter au passage des bateaux des modèles de ralentisseurs testés auparavant sur modèle pour le poisson (LARINIER, 1984).

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

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

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

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

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

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

Les caractéristiques géométriques sont données sur la figure 10. Deux rangées de chevrons ont été disposées sur la largeur de la passe. Cette configuration est plus adaptée au passage des poissons : les zones à faibles vitesses empruntées de préférence par le migrateur sont situées sur les bords de la passe. Il est possible, sans inconvénient majeur, de supprimer toutes les bandes longitudinales, à l'exception de la bande centrale, située dans l'axe de symétrie de la passe, dont le rôle est de stabiliser l'écoulement. Pour le passage des embarcations, on inversera la disposition des chevrons de telle sorte que l'axe de la passe corresponde à la pointe amont d'un chevron pour faciliter le centrage des embarcations dans le dispositif. Il conviendra de conserver toutes les bandes longitudinales.

La figure 11 donne sous forme adimensionnelle pour plusieurs pentes (I), la relation entre le débit unitaire $q^* = q/(\sqrt{2ga}^{1.5})$, la charge amont (h_a/a), le tirant d'eau moyen (h/a), et la vitesse débitante $V^* = aq^*/h$.

La charge amont (h_a) est la différence entre la cote en altitude de la surface libre en amont et celle du point de début de déversement du ralentisseur amont (la cote de déversement de la pointe aval du ralentisseur). La relation entre la charge (h_a) et la charge

(h_r) comptée par rapport à la cote du radier au niveau de la pointe amont du ralentisseur amont est la suivante :

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

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

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

On a porté sous forme dimensionnelle sur la figure 12 la relation entre le débit unitaire (q), la charge amont (h_a), le tirant d'eau moyen (h), et la vitesse débitante (V) pour une passe à saumon ayant des ralentisseurs de 0.10 m de hauteur.

Figure 10 : Paramètres caractéristiques de la passe à ralentisseurs en chevrons épais.

Figure 10 : Characteristic parameters of the thick chevron shaped baffle fishway .

Figure 11 : Relation entre le débit, la charge amont, le tirant d'eau moyen et la vitesse débitante pour la passe à ralentisseurs de fond en chevrons épais.

Figure 11 : Relation between flow, upstream head, mean depth and velocity for the thick chevron-shaped bottom baffle fishway.

Figure 12 : Relation entre le débit, la charge amont, le tirant d'eau moyen et la vitesse débitante pour la passe à ralentisseurs en chevrons épais ($a = 0.10\text{ m}$ et pente 16 %).

Figure 12 : Relation between flow, upstream head, mean depth and velocity for the thick chevron-shaped baffle fishway ($a = 0.10\text{ m}$, slope 10 %).

4.6. PASSES A RALENTISSEURS DE TYPE ALASKA

Ce type de passe (Fig. 13) a été développé pour le saumon du pacifique dans les années 60 en Alaska (ZIEMER, 1962) à partir d'un prototype testé sur modèle par MCLEOD et NEMENYI (1940). Cette passe est de petite dimension (largeur 0.56 m, hauteur 0.70 m, largeur libre intérieure de 0.35 m) ce qui permet l'utilisation de pentes fortes de 25 % à 35 %. Plusieurs variantes ont été développées, différant par la hauteur et l'inclinaison des ralentisseurs latéraux.

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

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

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

Figure 13 : Paramètres caractéristiques de la passe à ralentisseurs de type Alaska.
Figure 13 : Characteristic parameters of the Alaska-type fishway.

BIBLIOGRAPHIE

- CONSEIL SUPERIEUR DE LA Peche, 1989. Estimation d'efficacité de deux dispositifs de franchissement sur des seuils du Gave de Pau. Délégation Régionale Midi-Pyrénées, Aquitaine, 13 p.
- DENIL G., 1909. Les échelles à poissons et leur application aux barrages de Meuse et d'Ourthe. Bull. Acad. Sci. Belg., 1221-1224.
- DENIL G., 1936-1938. La mécanique du poisson de rivière. Ann. Trav. Publ. Belg., 395 p.
- LARINIER M., 1977. Les passes à poissons. Etude 16. Ministère de l'Agriculture, CTGREF, 136 p.
- LARINIER M., 1978. Etude du fonctionnement d'une passe à poissons à ralentisseurs plans. Bull. Fr. Pisc., 271 : 40-54.
- LARINIER M., 1983. Guide pour la conception des dispositifs de franchissement des barrages par les poissons migrateurs. Bull. Fr. Pisc., numéro spécial, 39 p.
- LARINIER M., 1984. Dispositif mixte passe à poissons-glissière à canoë-kayak. Rapp. préliminaire non publié, 19 p.
- LARINIER M., MIRALLES A., 1981. Etude hydraulique des passes à ralentisseurs. Rapp. non publié, CEMAGREF, 53 p.
- LONNEBJERG N., 1980. Fiskepas af modströmstypen. Meddelser fra Ferskvandsfiskerilab. Danmarks Fiskeri-og Havundersogelser, Silkeborg, 107 p.
- MCLEOD A.M., NEMENYI P., 1940. An investigation of fishways. Bull. Iowa State Univ., Ames, Iowa, 24 : 1-72.
- RAJARATNAM N., KATOPODIS C., 1984. Hydraulic of Denil fishways. J. Hydr. Eng., 110 (9) : 1219-1233.
- RAJARATNAM N., KATOPODIS C., 1990. Steeppass fishways. Dept. Civ. Eng., Univ. of Alberta, Tech. Rep., 29 p.
- RAJARATNAM N., KATOPODIS C., VAN DER VINNE G., 1985. Mi-type backwater curves in Denil fishways. Can. Soc. Civ. Eng., Annual Conf., 141-156.
- RAJARATNAM N., KATOPODIS C., FLINT-PETERSEN L., 1987. Hydraulics of two-level Denil fishways. J. Hydr. Eng., 113 (5) : 670-674.
- SCHWALME K., MCKAY W.C., 1985. Suitability of vertical slot and Denil fishways for passing north temperate, nonsalmonid fish. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42 : 1815-1822.
- WHITE C. M., NEMENYI P., 1942. Report on hydraulic research on fish passes, in "Report of the Committee of fish passes". Inst. Civ. Eng., 59 p.
- ZIEMER G.L., 1962. Steeppass fishway development. Alaska Dept. of Fish and Game, Informational leaflet 12, 9 p.

Photo 1 : Ecoulement sur un modèle réduit dans une passe à ralentisseurs plans.

Photo 2 : Truite remontant une passe à ralentisseurs suractifs.

Photo 3 : Truite remontant une passe à ralentisseurs latéraux.

Photo 4 : Passe à ralentisseurs plans à la centrale de Lailhac sur le Gave d'Ossau (Pyrénées-Atlantiques).

Photo 5 : Passe à ralentisseurs plans à deux volées sur la Dore (Puy-de-Dôme).

Photo 6 : Passe à ralentisseurs de type Fatou sur l'Ellé (Morbihan).

Photo 7 : Ecoulement dans une passe à ralentisseurs suractifs.

Photo 8 : Passe à ralentisseurs suractifs en Normandie (cl. A. Richard).

Photo 9 : Passe à chevrons épais utilisée comme glissière à canoë-kayak à Brimeux sur la Canche (Pas-de-Calais) (cl. J.L. Fagard).

Photo 10 : Passe à chevrons épais au barrage du Bazacle sur la Garonne (Haute-Garonne).