

PASSE MIGRATOIRE FAVORISANT LA MONTÉE CONTINUE DU POISSON

PAR
B. MICHEL *
ET
R. NADEAU **

Introduction

En 1938, l'ingénieur belge Denil [1] disait que le malheureux poisson qui se présenterait dans une passe migratoire munie d'un ajutage à la Borda rencontrerait un véritable mur d'eau quasi infranchissable.

Cette remarque détourna tous les chercheurs de cette voie qui, pourtant, présente une solution des plus élégantes et économiques au problème de la migration des poissons.

Dans cet article, nous ferons part des études que nous avons effectuées sur modèle réduit et sur une passe expérimentale construite en nature, afin de mettre au point une passe migratoire à poissons munie d'orifices à la Borda. Contrairement au cas considéré par Denil où le jet issu de l'ajutage à la Borda recollait contre les parois, nous avons utilisé ce type d'orifice en évitant le recollement du jet. De cette façon, le poisson circule dans la zone d'eau morte adjacente au jet et ne rencontre aucunement

les fortes vitesses d'écoulement des autres types d'orifices.

Cet avantage couplé avec un réseau d'écoulement satisfaisant permet aux poissons de circuler d'une façon continue dans la passe migratoire et de réaliser des économies de construction allant de 35 à 75 pour cent par rapport aux passes actuellement construites ayant le même rendement.

Ce nouveau type de passe migratoire à poissons a été mis au point au département de Génie civil de l'Université Laval pour le ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche de la province de Québec.

Position du problème

Il existe une grande variété de passes migratoires et, en fait, il est rare de trouver deux passes construites d'une façon exactement semblable, chacune différant tant soit peu de la suivante.

Les différentes passes migratoires peuvent cependant être classées suivant leur principe de fonctionnement. On a alors :

a) les passes à pente régulière et vitesse moyenne à peu près constante;

* Dr-ing., M.E.I.C.; Professeur agrégé, Département de Génie civil, Université Laval.

** Ingénieur, Ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Province de Québec.

b) les passes avec bassins et cloisons, la dénivellation de l'eau s'effectuant localement au droit des cloisons.

La première classe est représentée uniquement par la passe Denil [1] dont une version simplifiée est montrée sur la figure 1. Cette passe comporte des obstacles successifs au fond d'un canal, qui créent une forte dissipation d'énergie et maintiennent une vitesse moyenne d'écoulement relativement faible. Ce genre de passe permet d'atteindre des pentes très fortes, de l'ordre de 1 : 6 pour le saumon. Les dimensions globales de cette passe sont donc extrêmement réduites. De plus, il faut un débit relativement élevé pour l'opérer, ce qui permet de créer une attraction favorable pour les poissons au pied de la passe.

Malheureusement, les avantages économiques de cette passe sont annulés si la dénivellation totale à franchir dépasse 6 ou 7 pieds. En effet, le poisson ne trouve pas des conditions bien naturelles de progression dans cette passe. Il est incommodé par la forte turbulence, si ce n'est l'entraînement d'air, de l'écoulement. Au-delà de cette dénivellation, il faut construire des bassins de repos qui réduisent considérablement la pente moyenne de la passe et en augmentent les dimensions globales. A ceci, ajoutons que la construction et l'entretien des dissipateurs d'énergie est difficile [2]. En commun avec toutes les passes où l'écoulement est constamment à surface libre, elle est inacceptable si les niveaux sont variables [3], en raison de la trop forte augmentation de débit correspondant à l'accroissement des profondeurs d'eau.

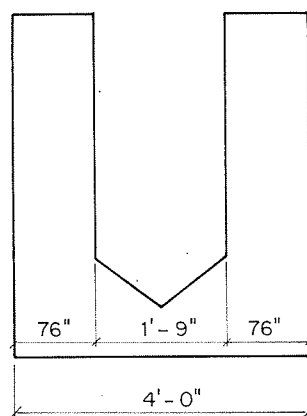
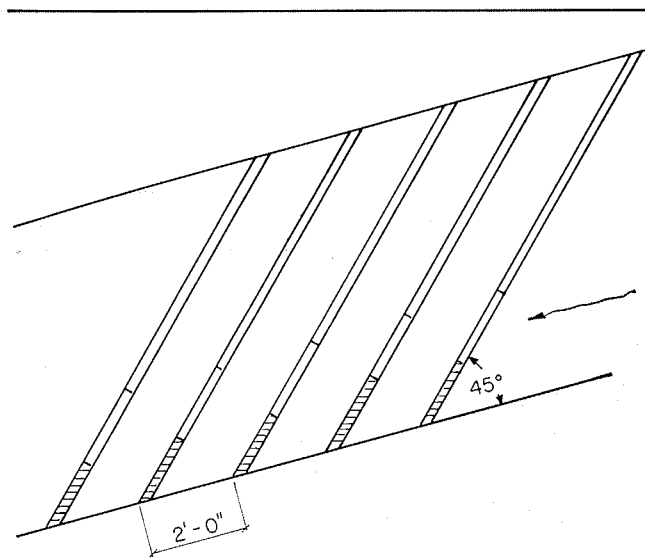
La seconde classe de passes migratoires est représentée par une grande variété de types. Toutes ces passes comportent des bassins suffisamment grands séparés par des cloisons où des ouvertures laissent passer l'eau. Suivant le mode de passage de l'eau au droit des cloisons, on distingue :

- les passes avec cloisons déversantes;
- les passes avec orifices;
- les passes avec fentes verticales de haut en bas.

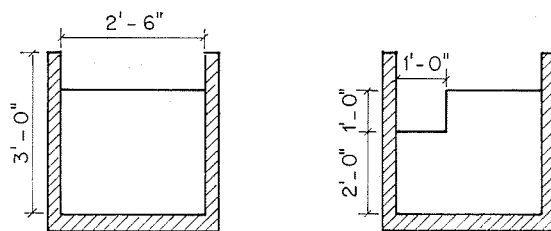
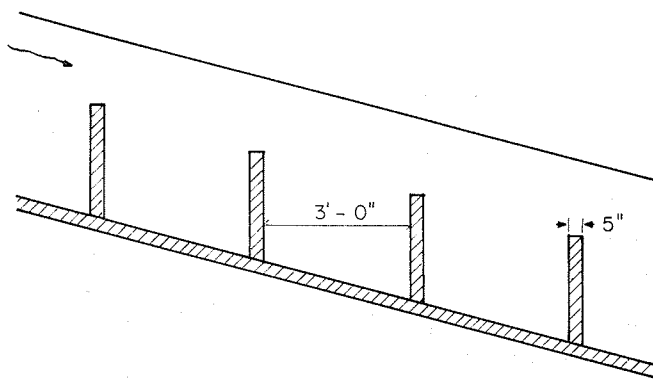
Il existe aussi des passes bâtarde combinant ces différents types.

Les passes avec cloisons déversantes sont les plus répandues de toutes les passes migratoires. La figure 2 représente quelques variations, avec ou sans encoches, dans les seuils déversants. Les passes sur la rivière Columbia [3] sont de ce type, en particulier celle du barrage de Dalles [4] qui a coûté 18 millions de dollars. Des essais systématiques [4] ont été effectués sur l'efficacité de ce type de passe pour des saumons du Pacifique. Ils montrent que les passes ayant une pente de 1 : 8 sont aussi efficaces que celles ayant une pente de 1 : 16. Avec une dénivellation de 1 pi. par cloison, le temps médian qu'un saumon prend pour franchir un bassin est de l'ordre de 3 à 5 minutes [2]. Ce temps est beaucoup plus élevé si la dénivellation est plus forte.

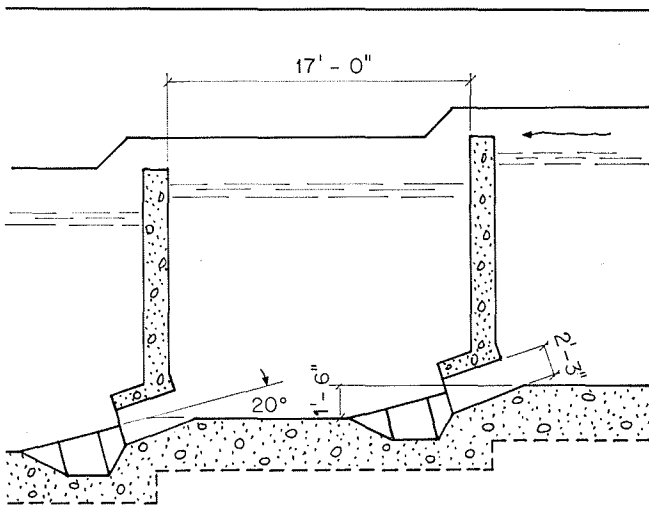
Les passes à orifice comportent des ouvertures de formes diverses à la base des cloisons. Un type particulièrement utilisé en Ecosse [2] est illustré par la figure 3. Ces ouvertures sont généralement alternées en plan, d'une cloison à l'autre, par rapport à l'axe de l'ouvrage.



1/ Passe Denil.
Denil fishway.



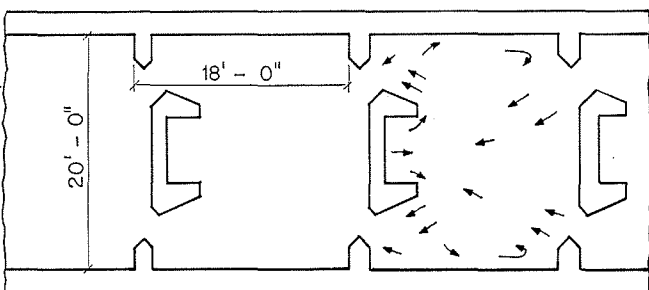
2/ Passe avec seuils déversants.
Overflow type fishway.



3/ Passe à orifices.
Orifice type fishway.

Un type très connu de passe avec fentes verticales est la passe Hell's Gate [2] montrée sur la figure 4. Deux fentes symétriques permettent le passage du poisson d'un bassin à l'autre.

Le défaut majeur des passes avec bassins et cloisons est leur coût élevé. Dans une passe du type Denil, un saumon progressera facilement à une vitesse de 2 pi./s. Avec une pente de 1 : 6, une dénivellée totale de 6 pi. sera franchie en 18 secondes. Pour une passe du type déversant avec une pente de 1 : 8, la même dénivellée sera franchie en 22,8 mn (3,8 mn par bassin). Si l'on veut que les deux passes permettent le même taux de passage de poissons lors des pointes de migration, il faudra donc admettre 75 saumons par bassin en même temps dans la passe à type déversant. Sachant que le volume d'eau vital requis par un saumon est généralement assumé égal à 4 pi.cu. [2], chaque bassin devra donc avoir un volume de 300 pi.cu. La section de l'écoulement dans cette passe sera donc de 37 pi.car., soit quatre fois plus que celle normalement requise pour la passe Denil. De plus, la passe à seuil déversant sera plus longue d'environ 30 %. Dans une passe avec bassins et cloisons, le poisson doit progresser d'une façon très discontinue, réservant son énergie pour franchir l'obstacle hydraulique local à la cloison. Sa vitesse de progression



4/ Passe à fentes verticales.
Vertical slot fishway.

moyenne est très faible et, si le nombre de saumons devant franchir la passe durant un temps donné est élevé, cela conduit à des ouvrages très considérables.

Il n'existe pas de données expérimentales sur les vitesses de remontée des poissons dans les passes à orifices et à fentes verticales. Il y a cependant tout lieu de croire qu'elles ne sont pas inférieures à celles des passes déversantes. Il est logique de penser que dans ces cas, les poissons franchissent les cloisons au niveau du sol où ils se trouvent déjà normalement, et qu'ils n'ont pas l'effort supplémentaire et pas très naturel à faire de s'élever pour franchir les déversoirs.

Les passes à orifice et, à un moindre degré, les passes à fentes verticales possèdent un fort avantage [3] sur les passes déversantes lorsque les niveaux d'eau sont variables. Avec un orifice, le débit varie avec la puissance $1/2$ de la chute, alors qu'il varie avec la puissance $3/2$ dans le cas d'un déversoir. Pour de fortes variations des niveaux amont d'une passe à orifice, le débit varie peu.

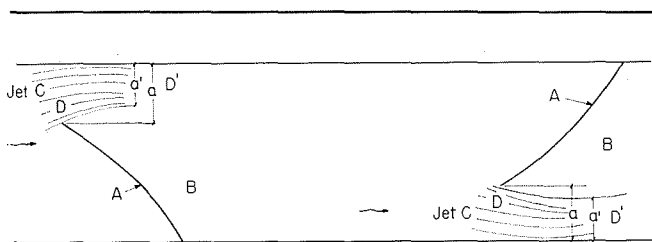
Observations sur la progression naturelle des saumons dans un rapide

Avant de s'attaquer aux problèmes de conception d'une passe migratoire, il convient d'abord d'observer la migration naturelle des saumons dans un rapide à forte vitesse d'écoulement.

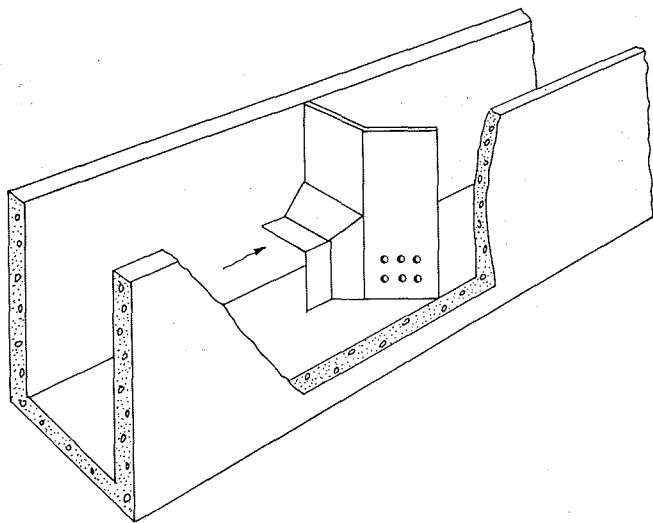
Nous avons eu l'occasion de constater le processus de progression des saumons de l'Atlantique dans un rapide le long d'un mur de protection de la rivière Matane. Ce rapide avait une centaine de pieds de longueur et une dizaine de pieds de largeur. Il était limité latéralement par le mur de protection, d'un côté, et par un jet à très forte vitesse provenant d'un évacuateur de crue, de l'autre.

La profondeur d'eau moyenne était de l'ordre de quatre à cinq pieds, les vitesses de l'ordre de 10 pi./s. Il y avait peu d'entraînement d'air et on pouvait voir clairement le lit du rapide sous un soleil ardent. Le lit était formé d'enrochements dont le diamètre moyen était de l'ordre du pied.

La progression des saumons dans ce rapide se faisait d'une façon ordonnée et systématique. Chaque saumon occupait d'abord une position fixe et immobile durant quelques secondes dans la traînée d'un enrochement, puis brusquement se déplaçait rapidement pour atteindre la traînée d'un autre enrochement situé de 4 à 8 pieds à l'amont. Il s'immobilisait à nouveau avant de progresser à l'enrochement suivant. Dans l'ensemble, tous les saumons suivaient exactement la même trajectoire à la queue leu leu. Aussitôt qu'un saumon laissait sa niche, derrière un caillou, le suivant, dans la file, venait occuper sa place. La trajectoire d'ensemble suivie par les saumons n'était pas rectiligne, mais oscillait d'un côté à l'autre d'une ligne droite. Pour ce trajet, de faible longueur, les saumons ne choisissaient jamais deux niches consécutives alignées avec le courant. Il y avait toujours un angle faible entre la



5/



6/ Passe à orifice à la Borda.
Borda mouthpiece fishway.

direction de deux niches consécutives et celle du courant.

De ce phénomène naturel, on remarque :

- que les saumons progressent naturellement par efforts successifs, mais que leur vitesse moyenne de progression est relativement bonne. Elle pouvait être de l'ordre de 1 pi./s dans ce cas;
- que la trajectoire suivie par les saumons oscille autour d'une droite et qu'elle est au niveau du sol;
- que les saumons suivent fidèlement une trajectoire établie par un leader et ne cherchent guère à établir des trajectoires parallèles pour progresser plusieurs à la fois sur un même front. Il s'agit cependant ici d'un petit groupe de saumons de l'Atlantique; peut-être une centaine.

Conception d'un ouvrage naturel

Il est clair que la passe migratoire s'approchant le plus des conditions naturelles de migration des poissons dans un rapide sera extrêmement efficace

et économique. Le poisson circulant à une vitesse moyenne de croisière élevée, comme pour une passe du type Denil, aucun ouvrage volumineux de stockage des poissons ne sera requis. De plus, les conditions de progression étant naturelles, le poisson pourra franchir n'importe quelle dénivellée sans fatigue, ce qu'on ne peut espérer avec la passe Denil.

Considérons la figure 5, où dans un canal nous introduisons deux obstacles alternés (A) placés normalement, représentant la partie aval de deux enrochements. Si, dans les zones (B), au niveau du sol, nous réussissons à maintenir un écoulement bien orienté de vitesse convenable (2 à 8 pi./s pour le saumon), le poisson trouvera des conditions naturelles de progression. Il exercera un effort seulement pour pénétrer dans le jet (C) contournant l'obstacle.

Mais il n'est pas exclu d'améliorer les conditions de passage au jet par rapport aux conditions naturelles. En effet, plus le jet est contracté en (a') par rapport à l'ouverture (a), plus les vitesses de l'écoulement sont faibles à l'entrée (D) pour une même dénivellation à l'obstacle. Le poisson venant de la zone (B) progressera dans le décollement du jet sans rencontrer les grandes vitesses du jet en (D'). Il traversera l'ouverture en (D) où les vitesses sont très réduites. Il est bien connu en hydraulique que le mécanisme qui permet d'obtenir la contraction maximale d'un jet est l'ajutage à la Borda.

Il est donc possible maintenant de préciser les caractéristiques de la passe migratoire, respectant le comportement naturel du saumon et améliorant les conditions physiques naturelles du lit qu'on trouve dans les rivières. Une section du canal de 3 pi. de largeur et 5 pi. de hauteur, contenant une seule cloison, est représentée par la figure 6. La cloison comporte un mur incliné par rapport à la paroi latérale du canal pour orienter le poisson vers l'ouverture située près de la paroi opposée et représentant un demi-orifice à la Borda.

Le dimensionnement préliminaire de la passe peut être calculé pour un saumon, si l'on veut que la vitesse en (C) (figure 5), ne dépasse pas la vitesse de croisière maximale [5] de 8 pi./s.

Pour un orifice à la Borda, la section contractée est théoriquement égale à une demi-fois la section de l'orifice. Dans ce cas, nous n'avons qu'un demi-orifice à la Borda et un écoulement à l'approche très différent du cas théorique. Les essais montrent que le coefficient de contraction du jet n'est que de 0,75. En adoptant une vitesse maximale permmissible du jet de 6 pi./s en (C), la vitesse à la section contractée sera :

$$V_{\max} = \frac{6}{0,75} = 8 \text{ pi./s}$$

et la dénivellée permmissible au droit d'une cloison :

$$\Delta H \cong \frac{V_{\max}^2}{2g} = 1 \text{ pi.}$$

Pour une longueur minimale de bassin de 4'6", la pente de la passe serait donc de 1 : 45. Cela est beaucoup plus prononcé que pour les passes existantes.

Les dimensions de l'orifice rectangulaire peuvent être ajustées à volonté. Il ne faut pas cependant, pour les saumons, descendre au-delà de :

$$a \text{ (largeur)} = 16''$$

$$b \text{ (hauteur)} = 16''$$

Le débit minimal de la passe est alors de 10,6 p.c.s. Ce débit peut être augmenté à volonté en accroissant les dimensions de l'orifice.

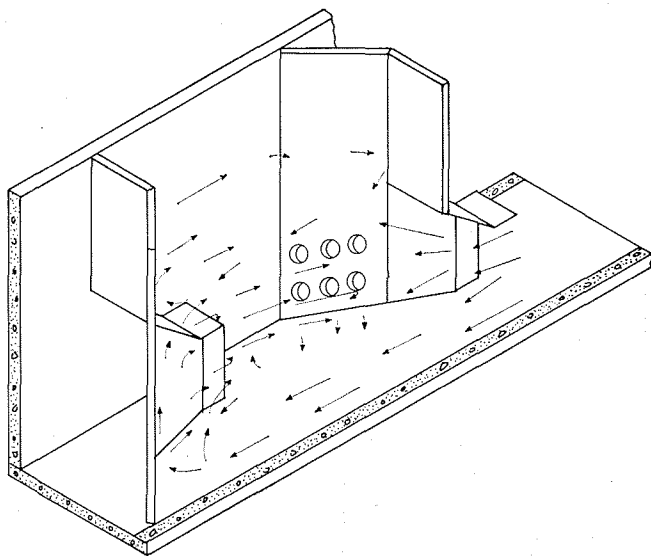
Pour maintenir un réseau d'écoulement satisfaisant dans la zone (B) et surtout prévenir le remous à axe vertical qui pourrait amorcer des courants en sens inverse à la direction du jet, il faut introduire un faible débit bien réparti dans la paroi (A).

Etude hydraulique de la passe

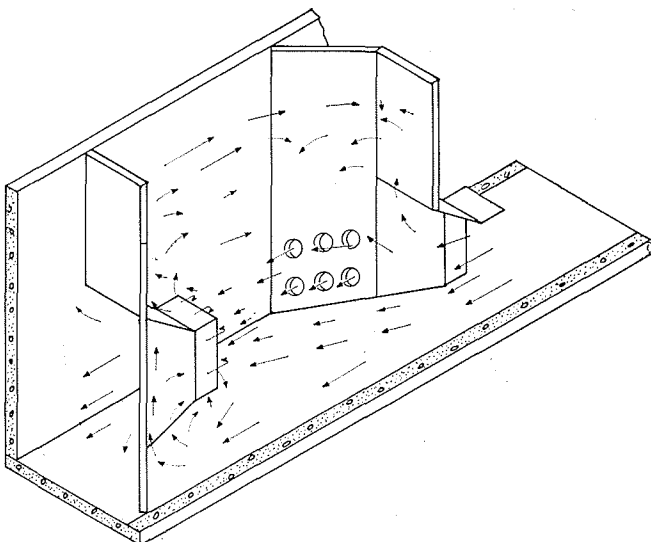
Une section de la passe décrite ci-dessus a été construite à l'échelle 1 : 2 au laboratoire d'Hydraulique de l'Université Laval. Cette section représentait quatre bassins consécutifs de 6 pi. de longueur par 3 pi. de largeur et 5 pi. de hauteur.

La loi de débit des orifices a été déterminée pour différentes dénivellations Δh et profondeurs d'eau h_0 dans les bassins. Dès que le rapport $\Delta h/h_0$ dépasse 0,15, on peut prendre la formule de débit :

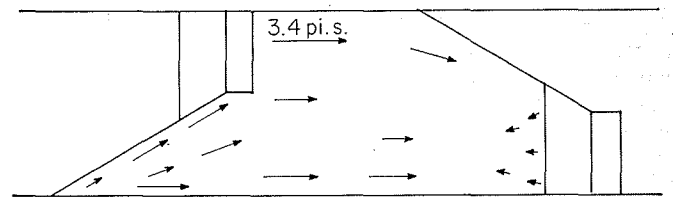
$$Q = C_D A \sqrt{2 g \Delta h} \left\{ \begin{array}{l} C_D = 0,75 \\ A = \text{section de l'orifice} \end{array} \right.$$



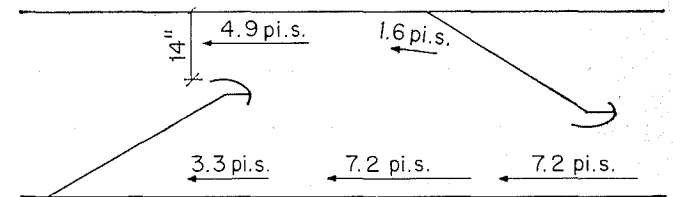
7/



8/

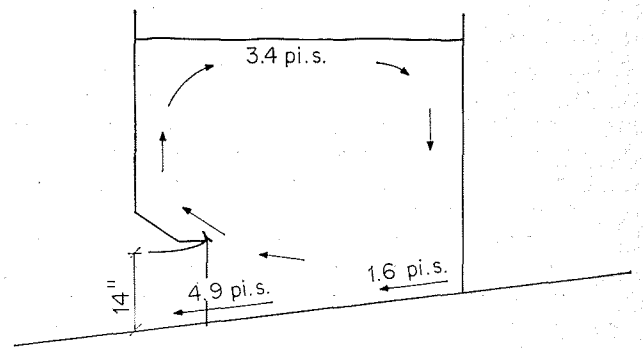


Coupe AA

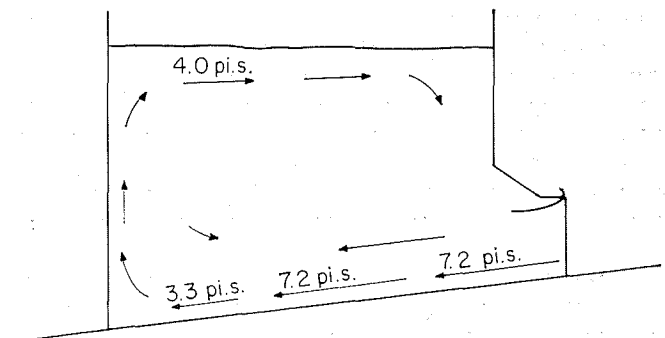


Coupe BB

9/



Coupe CC



Coupe DD

10/

Le but principal du modèle était d'ajuster l'écoulement pour obtenir des vitesses convenables dans le fond d'un bassin. Même avec la construction d'orifices secondaires dans la cloison, nous avons trouvé que si la profondeur d'eau dans un bassin était inférieure à 45 po., l'écoulement formait un remous à axe vertical, comme indiqué sur la figure 7, qui créait des vitesses ascendantes sur le parcours du poisson absolument contraires à sa progression.

Par contre, figure 8, si la profondeur est supérieure à 45 po., le remous devient hélicoïdal à un seul pas avec un axe horizontal. L'orientation des vitesses dans le fond du bassin est favorable à la remontée du poisson. Ces vitesses ont été mesurées pour un débit de 10,3 p.c.s. et une profondeur d'eau de 54 pouces dans un bassin. Les résultats sont indiqués sur les figures 9 et 10. La coupe horizontale (AA) est située à environ 6 pouces sous la surface de l'eau et la coupe horizontale (BB) à 4 pouces du fond. Les coupes verticales (CC) et (DD) sont situées à environ 3 pouces des parois. L'intensité des vitesses, montrée sur la coupe (BB), est extrêmement favorable au passage du saumon.

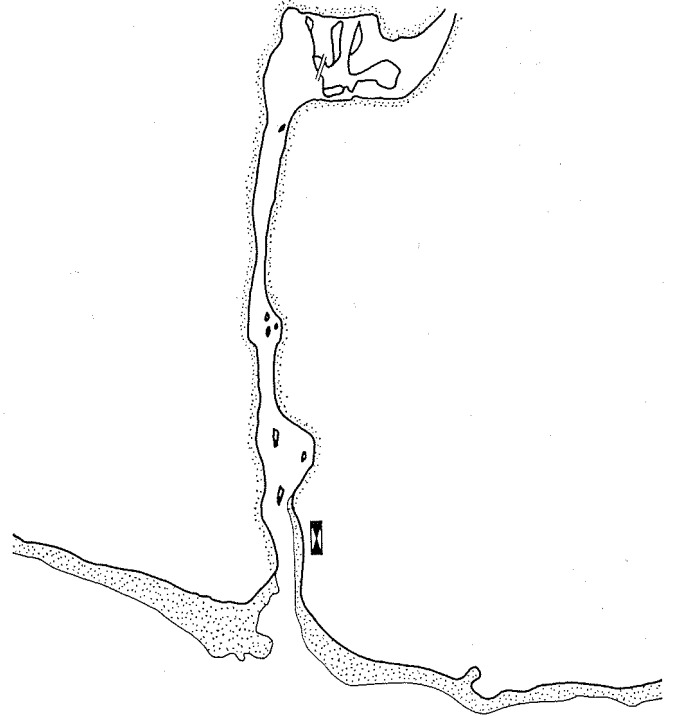
Essai de la passe en nature

Après ces essais en laboratoire, la passe munie d'orifices à la Borda fut construite sur une base expérimentale, à la station biologique de Nabisipi, au cours de l'été 1964.

La rivière Nabisipi se jette sur la côte nord du fleuve Saint-Laurent, à environ 175 milles à l'est de Sept-Iles. C'est une rivière à saumons de très faible capacité. Elle comprend d'abord un estuaire ayant le caractère d'un petit fjord, où la marée se fait sentir jusqu'à environ un mille et quart de l'embouchure proprement dite. A l'extrémité de l'estuaire se situe un complexe de chutes, représenté sur la figure 11, d'une hauteur totale de trente-cinq pieds. Ces chutes sont quasi infranchissables par le saumon. Lorsque le débit devient relativement faible, vers la fin de l'été, quelques saumons réussissent à les franchir. Malgré un effort considérable de pêche au filet par des biologistes, la prise de saumons dans l'estuaire est faible. Durant l'été 1964, cent soixante-six saumons seulement furent capturés.

La passe migratoire fut implantée le long d'une faille naturelle située entre deux chutes principales (fig. 11). Cette faille, extrêmement commode pour la construction, présentait l'inconvénient majeur de déboucher dans une masse importante et profonde d'eau morte. Un tel site est extrêmement défavorable pour situer l'entrée d'une passe migratoire à saumons [7-8], car ce poisson évite entièrement les trajectoires où il n'y a pas de courant. Il fallait donc introduire un débit supplémentaire à celui de la passe proprement dite, afin de créer une attraction au pied de la passe pour les saumons. Après quelques difficultés, les travaux étaient complétés le 8 août et un débit auxiliaire de 60 p.c.s. permettait d'attirer les saumons.

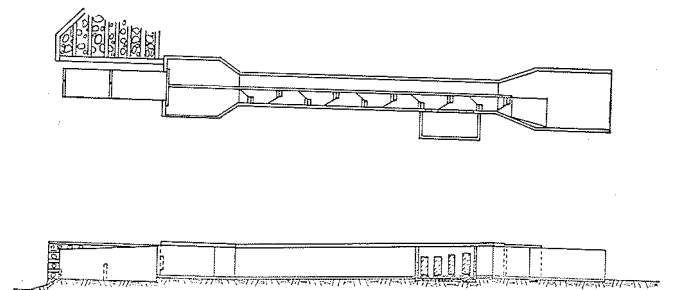
La passe (fig. 12) comporte d'abord à l'entrée une série de seuils ayant 24 pieds de longueur, qui



11/ Estuaire de la rivière Nabisipi.
Nabisipi river estuary.

sont successivement noyés par la marée. Vient ensuite un bassin de dissipation d'énergie, servant aussi d'entrée à la passe proprement dite. Celle-ci comporte 9 bassins de 6 pi. de longueur, la dénivellation totale étant de 8 pi. en moyenne. Parallèlement à la passe, se trouve un canal de 3 pi. de largeur et de même longueur, qui sert à amener l'eau auxiliaire. A la sortie de la passe se trouve un bassin de distribution des débits et de capture des poissons, de 16 pi. de longueur. Ce dernier est alimenté par un canal excavé dans le roc, d'une centaine de pieds de longueur, conduisant directement à un palier d'une des chutes où le saumon peut facilement franchir ce qui reste de dénivellation.

Durant quelques jours, vers la fin de juillet, un petit nombre de saumons avaient réussi à franchir les chutes par le passage naturel. Le 9 août, les premiers saumons s'engageaient dans la passe. Le



12/ Passe expérimentale Nabisipi.
Nabisipi experimental fishway.

20 août, la migration était arrêtée pour toutes fins pratiques. Au total, 16 saumons et 40 truites de mer avaient franchi la passe migratoire. Les observations sur la migration du saumon ont été faites visuellement. Tous les saumons ont franchi la passe sans s'arrêter, après s'être reposés pendant quelque temps dans le bassin d'entrée inférieure. Le temps estimé de migration de ces poissons dans la passe munie d'orifices à la Borda variait de 30 à 60 s, la vitesse moyenne de progression étant donc de 1,5 pi/s. Les truites de dimension supérieure à 10 ou 12 pouces franchissaient elles aussi la passe sans s'arrêter. Il a été possible d'observer le comportement d'une truite de six pouces de longueur par une paroi vitrée située devant un bassin. Après s'être arrêtée derrière la cloison, cette truite a réussi à franchir brusquement l'orifice dans le décollement du jet. La passe expérimentale a aussi montré que le fait d'avoir une discontinuité importante de l'écoulement retarde considérablement la migration du saumon. Nous avons ainsi remarqué qu'après avoir franchi les trois premiers seuils déversants, le saumon aussi bien que la truite demeuraient parfois plusieurs heures dans le bassin d'entrée inférieure avant de s'engager dans la section équipée d'orifices à la Borda. Ils franchissaient cette dernière d'un seul trait comme nous l'avons déjà dit.

Caractéristiques finales de la passe pour différents types de poissons

Le calcul des passes migratoires munies d'orifices peut être effectué à l'aide d'une méthode proposée par Denil et améliorée par White et Nemenyi [3].

La résistance (P) que doit vaincre un poisson pour franchir un orifice est composée d'une part de la résistance (G) due à la différence de pression entre les deux bassins, de chaque côté de l'orifice, et à la résistance hydrodynamique (F) due à l'effet des vitesses sur le poisson :

$$P = G + F$$

En supposant que l'avant du poisson est soumis à la pression supérieure et l'aval à la pression inférieure, la résistance due à la pression s'exprime par :

$$P = \omega A \Delta H$$

où :

- ω poids spécifique de l'eau;
- A section transversale maximale du poisson;
- ΔH dénivellation entre les deux bassins.

D'autre part, par la loi des orifices :

$$\Delta H = \frac{U^2}{2g}$$

où (U) est la vitesse du jet dans la section contractée.

La force de traînée (F) s'exprime d'une façon classique par :

$$F = \frac{k\omega AU_1^2}{2g}$$

k coefficient de traînée pris égal à 0,25 [1] suivant des expériences de Denil pour des salmonidés;

U_1 vitesse du poisson par rapport au jet; peut être pris égal à 1,25 U.

Avec ces valeurs, on trouve que la résistance que doit surmonter le poisson est :

$$P = 1,38 \frac{AU^2}{2g}$$

Le poids d'un poisson dans l'eau est lié à son volume par :

$$W = V\omega$$

Des mesures [3] montrent que les dimensions d'un poisson fuselé sont sensiblement dans les rapports suivants :

$$V \approx \frac{L^3}{90}$$

$$A \approx \frac{L^2}{50}$$

où (L) est la longueur du poisson. Avec ces valeurs, on obtient la relation finale :

$$\frac{P}{W} = 2,5 \frac{\Delta H}{L}$$

En observant les sauts hors de l'eau de différents types de poissons, Denil arrive à montrer qu'un poisson peut fournir un effort instantané égal à une certaine proportion de son poids. Ce rapport est de 1,2 pour le saumon, 1,4 pour la truite et 1,0 pour le poisson blanc. Il recommande cependant de prendre un facteur de sécurité de 2 pour la conception d'une passe migratoire où le poisson devra maintenir un effort soutenu. Avec ces valeurs, on trouve donc les caractéristiques des passes à orifices ordinaires :

Saumon :

$$\frac{\Delta H}{L} = 0,24$$

Truite :

$$\frac{\Delta H}{L} = 0,28$$

Poisson blanc :

$$\frac{\Delta H}{L} = 0,20$$

Il nous est maintenant possible de comparer directement ces valeurs avec celles de la passe avec un orifice à la Borda. Nous savons que les truites de 12 pouces franchissaient les orifices sans s'arrêter, mais que celles de 6 pouces devaient faire un effort instantané supérieur pour les passer. En prenant les truites de 12 pouces, nous aurons donc aussi une sécurité de 50 %. La dénivellation entre les cloisons était de 9 pouces. Cela donne donc comme caractéristique pour cette passe :

Truite :

$$\frac{\Delta H}{L} = \frac{9''}{12''} = 0,75$$

La passe avec des orifices à la Borda permet donc des dénivelées trois fois plus fortes pour les mêmes poissons que celles ayant des orifices ordinaires. Dans ce sens, elle est hydrauliquement trois fois plus efficace. Cela s'explique parce que, d'une part, le poisson ne franchit pas le jet à haute vitesse rencontré dans l'orifice ordinaire, mais passe dans le décollement de ce jet et parce que, d'autre part, le poisson ne subit pas toute la différence de pression entre les bassins mais une partie seulement de celle-ci, répartie le long de l'orifice.

En conservant les mêmes proportions d'effort pour les différents types de poissons, on trouve :

Saumon :

$$\frac{\Delta H}{L} = 0,65$$

Poisson blanc :

$$\frac{\Delta H}{L} = 0,54$$

A l'aide de ces données, on peut établir les caractéristiques des passes pour ces différents poissons. Elles sont résumées dans le tableau suivant :

POISSON	SAUMON	TRUITE
Longueur minimale des poissons.	24 po.	6 po.
Longueur des bassins.	6 pi.	30 po.
Largeur minimale des bassins.	3 pi.	1,5 pi.
Profondeur minimale de l'eau dans les bassins.	4 pi.	2 pi.
Dénivelée entre les bassins.	14,5 po.	5 po.
Pente des passes.	1 : 5	1 : 6
Dimensions minimales des orifices.	16" x 16"	8" x 8"
Débit des passes dans ces conditions.	11,8 p.c.s.	1,7 p.c.s.

Economie de la passe avec orifice à la Borda

Proposons-nous de comparer le coût de la passe migratoire, dont il est ici question, avec celui des types courants : passe à orifice ordinaire, passe avec seuil déversant et passe Denil. Pour cela, nous considérerons une dénivelée totale à franchir de 50 pi. par des saumons. Il est cependant important de remarquer que toutes ces passes devront être équivalentes, c'est-à-dire avoir la même capacité de migration des saumons.

Dans cette comparaison, nous ne tiendrons compte que des parois et du fond du canal renfermant la passe, en supposant que l'entrée, la sortie et les cloisons ont des coûts sensiblement égaux pour toutes ces passes. Nous ne compterons que le volume de béton requis pour ces murs, en supposant que le plancher a 6 po. d'épaisseur et les murs,

8 po. Le coût de l'excavation et des supports peut être pris sensiblement proportionnel à ce volume.

La passe avec orifice à la Borda contient au maximum un saumon par bassin. La vitesse de croisière des saumons est de 1,5 pi./s en moyenne. La capacité maximale de cette passe est donc de 1 saumon toutes les 4 secondes ou 900 saumons à l'heure. Les dimensions internes du canal sont de 3 x 5 pi. et la pente de 1 : 5. Le volume de béton requis sera de 2 200 pi.cu.

La passe à orifice ordinaire a les mêmes caractéristiques que celle à la Borda, mais en réduisant la pente à 1 : 13. Le volume requis de béton devra donc être multiplié dans cette proportion, soit 5 700 pi.cu.

La passe à seuil déversant aura une pente de 1 : 8. Le calcul du volume d'un bassin se fait par la formule [2] :

$$V = \frac{Cv}{60 r}$$

où :

- C capacité de la passe en poissons à l'heure;
- v volume requis en pi.cu. par poisson;
- r taux de migration en bassin par minute.

La valeur de v/r généralement utilisée [2] pour les projets est de 15. Pour passer 900 poissons à l'heure, le volume d'un bassin sera de 225 pi.cu., soit 8 pi. de longueur par 6 pi. de profondeur (7 pi. de mur) et 4,5 pi. de largeur. Le volume requis de béton est alors de 4 600 pi.cu.

Finalement, pour la passe Denil, nous prendrons les caractéristiques de celle construite sur la rivière Wenatchee [6] aux Etats-Unis. Cette passe a une pente de 1 : 6 et elle est dans un canal de 4 pi. 3 po. de largeur et 4 pi. de hauteur. A tous les 7 pi. de dénivellation, il faut prévoir un bassin de repos de 12 pi. par 12 pi. de profondeur. Le volume de béton requis avec cette passe pour franchir la dénivellation de 50 pi. serait de 3 300 pi.cu. En théorie, cette passe devrait aussi pouvoir passer environ 900 saumons à l'heure. A l'endroit où elle a été construite, on a observé un maximum de 150 saumons à l'heure.

Le tableau suivant résume les caractéristiques de ces passes :

TYPE	PENTE	CAPACITÉ (SAUMONS) (par heure)	VOLUME DE BÉTON (pi.cu.)	COUT RELATIF DE LA PASSE A LA BORDA
Borda.	1 : 5	900 (2)	2 200	—
Orifice.	1 : 3	900 (2)	5 700	38 %
Seuils déversants.	1 : 8	900 (3)	4 600	48 %
Denil.	1 : 8	900 (2) 150 (4)	3 300	67 %

- (1) Moyenne.
- (2) Théorique.
- (3) Vérifié.
- (4) Mesuré une fois seulement.

Des réserves doivent être apportées sur les chiffres indiquant la capacité des différentes passes. La capacité maximale des passes à la Borda et à orifice est calculée en supposant des conditions idéales de progression des saumons. Celle des seuils déversants a été établie à l'aide d'études faites sur le rendement de nombreuses passes existantes.

Pour des capacités inférieures ou égales à 450 saumons à l'heure, les dimensions du canal contenant la passe à seuil déversant deviennent égales à celles des passes à orifice et à la Borda. L'économie de la passe à la Borda vient alors uniquement de sa plus faible pente et elle est de 38 %.

Il est probable que l'avantage économique de la passe munie d'orifice à la Borda serait maintenu pour des capacités allant jusqu'à 1 800 saumons à l'heure. Il irait ensuite en décroissant pour des capacités supérieures.

Conclusions

Nous avons fait part dans cette communication de la mise au point d'un nouveau type de passe migratoire à poissons. Cet ouvrage a été conçu en s'inspirant du processus naturel de migration des saumons dans un rapide. Pour améliorer le rendement de cette passe, il a été trouvé très efficace d'utiliser un orifice à la Borda.

L'écoulement dans cette passe a été étudié en laboratoire et le passage des saumons a été observé dans une passe expérimentale construite sur la rivière Nabisipi.

Ce type de passe peut être utilisé avec une pente plus prononcée que celles de toutes les passes existantes. Les saumons progressent sans arrêter dans cet ouvrage à une vitesse moyenne de 1,5 pi./s. Cependant, ceci n'a été vérifié que pour une dénivellation totale de 8 pi. Il faudrait s'assurer que les saumons maintiennent ce train pour des dénivellées supérieures.

Par rapport à la passe classique à seuils déversants, l'économie est de l'ordre de 35 % pour des faibles taux de migration de saumons. Elle s'applique ainsi particulièrement bien pour les saumons de l'Atlantique. Sa pente, plus abrupte, permet de l'adapter plus facilement à la topographie locale, dans bien des cas. Enfin, elle est très efficace aux endroits où les niveaux d'eau sont variables.

La capacité de cette passe a été estimée, mais elle n'a pas été vérifiée expérimentalement. Il y a cependant tout lieu d'espérer que l'ouvrage demeure très économique pour des rivières à taux moyen de migration des saumons, ce qui est le cas dans bien des applications de la côte du Pacifique.

Nous tenons à remercier M. Robert Bourassa, biologiste du ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche de la province de Québec, pour sa collaboration éclairée durant toutes les phases de cette étude.

Références

- [1] DENIL (G.). — La mécanique du poisson de rivières. Extraits des *Annales des Travaux Publics de Belgique*, 1936 à 1938.
- [2] CLAY (C. H.). — Design of Fishways and other Fish Facilities. *The Department of Fisheries of Canada*, Ottawa, 1961.
- [3] Report of the Committee of Fish-Passes. — *The Institute of Civil Engineers*, London, 1942.
- [4] GAULEY (J. E.). — Effect of Fishway Slope on Rate of Passage of Salmonids. Special Scientific Report, Fisheries, No. 350.
- [5] COLLINS (G. B.), and ELLING (C. H.). — Fishway Research at the Fisheries. *Engineering Research Laboratory, Fish and Wildlife Service*, Bureau of Commercial Fisheries, Circular 98.
- [6] FULTON (L. A.), GANGMARK (H. A.) and BAIR (S. H.). — Trial of Denil-type fish ladder on Pacific Salmon. Special Scientific Report, Fisheries, No. 99.
- [7] GORDON (R. N.). — Fisheries problems associated with hydroelectric development. *EIC*. 64, Hydel 3.
- [8] McLEOD (A. M.) and NEMENYI (P.). — An Investigation of Fishways. *U. of Iowa, Studies in Engineering*, Bulletin 4.

Abstract

**A new-type of fishway
designed for continuous operation**

by
B. Michel *
and
R. Nadeau **

The conception of this fishway was made from observations of fish movements behind stones in rapids. Figure 5 shows a channel into which we have introduced two alternate obstacles (A) representing the downstream part of two boulders. If, in the (B) zones at ground level, we succeed in maintaining a well regulated flow of suitable speed (2 to 8 ft/sec for salmons) the fish will find natural conditions of progression. It will exercise only sufficient effort to penetrate into the jet (C) flowing around the obstacles. The efficiency of the design will be greatly increased if the tips of obstacles (A) are Borda mouthpieces. The fish will then penetrate the jet through the zone of separation at point (D) where the velocity is greatly reduced for a given head differential at the partition wall.

This design was materialized as shown in Figure 8 and adjusted in a hydraulic laboratory to obtain a suitable velocity field at ground level as shown in Figures 9 and 10.

This design was finally built on an experimental basis at the biological station of the Nabisipi river as shown in Figure 12. Although the construction was completed late in the season, 16 salmons and 40 sea trouts took the fish ladder. It was found that the fishes, starting from 10 to 12 inches trout, went up the ladder without stopping at an average rate of progress of 1.5 ft/sec. A 6 inches trout could also climb the ladder but had to stop at every partition. A computation then shows that this type of fishway allows a level differential three times as great for the same fish as those having standard orifices. The final characteristics of the fishway for salmon and trout are shown on the table given in the text.

An analysis of the relative economy of this fishway was made and the results are also shown in a table in the text. For small numbers of migratory fishes the economy would be at least 38 % compare to a fishway with overflow weirs and it would be up to 48 % for bigger capacities. This fishway is particularly advantageous when there is a variable upstream and downstream level.

* Dr-ing., M.E.I.C.; Professeur agrégé, Département de Génie civil, Université Laval.

** Ingénieur, Ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Province de Québec.