



GENIVAR

GUIDE D'ÉVALUATION DE LA PROBLÉMATIQUE
DE LA DÉVALAISON DES POISSONS EN RELATION
AVEC LES PETITES CENTRALES
HYDROÉLECTRIQUES

présenté au

MINISTÈRE DES PÊCHES ET DES OCÉANS

et à

L'ASSOCIATION DES PRODUCTEURS PRIVÉS
D'HYDROÉLECTRICITÉ DU QUÉBEC

MARS 1996

674

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Ministère des Pêches et des Océans :

Chargés de projet : François Boulanger
Alain Bourgeois

Association des producteurs privés d'hydroélectricité du Québec :

Chargée de projet : Louise Ouellet

Groupe-conseil Génivar :

Directeur : Claude Beaulieu

Chargé de projet : Jean Therrien

Collaborateur : Sylvie Asselin

Collaboration spéciale :

Fisheries and environmental consultant, Canada : Paul Ruggles

Conseil supérieur de la pêche, France : Michel Larinier

Référence à citer :

THERRIEN, J. et C. BEAULIEU. 1996. Guide d'évaluation de la problématique de la dévalaison des poissons en relation avec les petites centrales hydroélectriques. Rapport du Groupe-conseil Génivar présenté au ministère des Pêches et des Océans et à l'Association des producteurs privés d'hydroélectricité du Québec. 118 p.

TABLE DES MATIÈRES

Page

ÉQUIPE DE RÉALISATION	i
REMERCIEMENTS.....	ii
TABLE DES MATIÈRES.....	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	v
LISTE DES FIGURES.....	vi
1. INTRODUCTION.....	6
2. APPROCHES, CONCEPTS ET TERMES.....	8
2.1 Problématique.....	8
2.2 Approche du gouvernement provincial	13
2.3 Approche du gouvernement fédéral	14
3. ESPÈCES CONCERNÉES.....	16
4. CAUSES DE MORTALITÉ	20
4.1 Causes de mortalité.....	20
4.2 Type de blessures	22
4.3 Estimation de la mortalité.....	23
4.3.1 Méthodes d'estimation	27
4.3.1.1 Entraînement dans une turbine	29
4.3.1.2 Mortalité induite lors du passage dans une turbine	31
4.3.2 Modèles prédictifs.....	33
5. DISPOSITIFS PROTÉGEANT LE POISSON EN DÉVALAISON	37
5.1 Exutoire de dévalaison.....	39
5.1.1 Décharge de surface («Spillway») ou déversoirs	39
5.1.2 Canal d'évacuation	41
5.2 Barrières physiques.....	44
5.2.1 Grilles déflectrices.....	45
5.2.2 Grilles écrémeuses ou Eicher.....	48
5.2.3 Grilles rotatives.....	50
5.3 Barrières comportementales.....	52
5.3.1 Persiennes	53
5.3.2 Lampe au mercure	56
5.3.3 Stroboscope	58

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	<i>Page</i>
5.3.4 Écrans sonores et Poppers.....	59
5.3.5 Champ électrique	61
5.3.6 Écran de chaînes	63
5.3.7 Écran de bulles d'air.....	64
5.3.8 Hybride	66
5.4 Système de collecte et de transport	67
5.5 Bilan	68
5.5.1 Analyse comparative	68
5.5.1.1 Critères.....	68
5.5.1.2 Analyse	71
5.5.2 Utilisation des dispositifs aux États-Unis.....	73
6. PRINCIPES ET STRATÉGIE	75
6.1 Considérations générales de conception	77
6.1.1 Potentiel piscicole.....	77
6.1.2 Comportement du poisson.....	78
6.1.3 Conditions hydrologiques	80
6.1.4 Configuration du site.....	80
6.1.5 Vitesse et lignes de courant.....	81
6.1.6 Évaluation du taux de mortalité et d'entraînement	82
6.1.7 Choix de turbine	83
6.1.8 Analyse comparative	83
6.1.9 Suivi.....	85
6.1.10 Entretien	86
6.2 Grille d'analyse.....	86
6.3 Cheminement stratégique.....	91
6.3.1 Cheminement I.....	93
6.3.2 Cheminement II.....	97
7. PROJETS	99
8. CONCLUSION	106
9. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	110

1. INTRODUCTION

Le ministère des Pêches et des Océans (MPO) et l'Association des producteurs privés d'hydroélectricité du Québec (APPHQ) se sont donnés le mandat de développer un outil d'analyse permettant de décrire la problématique de la dévalaison des poissons, là où des petites centrales hydroélectriques sont aménagées, et d'évaluer les dispositifs disponibles à cet effet. Ce besoin est né de l'essor que connaît le développement des petites centrales hydroélectriques au Québec et des aménagements qui sont requis pour permettre la conservation des ressources ichtyennes en dévalaison qui transitent par les ouvrages.

De plus, comme ce domaine est nouveau, il est primordial d'uniformiser la méthodologie d'analyse des aspects suivants d'un projet : l'évaluation des enjeux environnementaux; le choix des critères sur lesquels doit reposer la décision d'aménager ou non un dispositif protégeant le poisson en dévalaison qui transiterait via une centrale ou un barrage; et les paramètres à analyser pour la conception d'un dispositif efficace. Il faut également fournir au promoteur les mises en garde nécessaires et uniformiser la démarche de conception des dispositifs qu'il doit adopter.

Dans cette optique, le présent document constitue un guide qui permet aux gestionnaires du MPO et aux membres de l'APPHQ d'identifier les enjeux véritables liés au développement de projets de petites centrales hydroélectriques, en ce qui concerne la dévalaison des poissons. Il permet aussi de connaître l'état des connaissances et la performance générale des dispositifs disponibles pour prévenir toute mortalité associée à la dévalaison des poissons, ainsi que les contraintes et les limites qui leur sont associées. Enfin, il identifie tout les aspects de la problématique et propose une démarche à suivre par les promoteurs dans la réalisation et le suivi d'un projet de petite centrale hydroélectrique, afin de se conformer à leurs obligations environnementales, tout en optimisant le rendement de leurs installations et des dispositifs de protection aménagés pour le poisson.

Ce guide devrait également faciliter et uniformiser les prises de décision des autorités gouvernementales en ce qui a trait aux mesures d'atténuation exigées des promoteurs de petites centrales hydroélectriques.

Les volets spécifiques du guide, faisant l'objet de sections distinctes, sont les suivants:

- présenter la problématique étudiée et décrire l'approche préconisée actuellement par les ministères impliqués dans l'analyse de projets de petites centrales hydroélectriques;
- identifier les espèces de poissons présentant un intérêt particulier pour ces ministères et décrire leurs caractéristiques en relation avec le sujet étudié;
- présenter les causes de mortalité associées à la dévalaison des poissons aux sites de petites centrales et les méthodes d'estimation des taux de mortalité;
- décrire les dispositifs disponibles pour prévenir toute mortalité associée à la dévalaison des poissons, leur performance respective et les coûts approximatifs d'installation et d'entretien;
- élaborer une stratégie permettant d'uniformiser la démarche à suivre par les promoteurs, ce qui facilitera le choix d'un dispositif optimal en fonction des caractéristiques de chaque site;
- et fournir une liste de projets réalisés qui pourraient être visités et qui permettent d'acquérir de l'expérience dans ce domaine.

Les trois dispositifs restants sont les grilles déflectrices, les grilles rotatives et les grilles écrémeuses.

5.2.1 Grilles déflectrices

Description

Ces grilles peuvent être fixes ou mobiles et ces deux types ont peu de différences sur le plan biologique, elles bloquent le passage au poisson et le dirigent généralement vers un exutoire lorsqu'il s'agit d'un aménagement en fonction d'un poisson migrateur. La seule chose les distinguant concerne les grilles mobiles qui permettent des conditions hydrauliques plus stables que les grilles fixes parce que les premières accumulent moins facilement les débris.

Ces grilles peuvent être installées à l'amont des prises d'eau, dans un canal d'amenée ou au niveau de la grille anti-débris. Précisons que la grille anti-débris («Trash rack») est constituée de barreaux verticaux espacés de 8 à 20 cm et qu'elle sert à empêcher que des débris volumineux, comme des branches ou des billots, ne pénètrent dans les turbines. Dans l'éventualité où une grille déflectrice fixe est installée au niveau de la grille anti-débris, elle peut être superposée à celle-ci ou alors la grille anti-débris est modifiée par une diminution de l'espacement entre les barreaux. Elle est alors considérée comme un dispositif protégeant le poisson en dévalaison communément appelé «Bar rack».

Lorsque des grilles déflectrices verticales sont installées directement en amont de la prise d'eau des turbines, la vitesse du courant ne devrait pas excéder un certain seuil. Aux États-Unis, la vitesse maximale tolérée par la Federal Energy Regulatory Commission est, sur la Côte est, de 30 cm/s pour les saumonneaux et, sur la Côte ouest, de 24,4 cm/s pour les saumonneaux et de 12 cm/s pour les alevins (depuis moins de cinq ans). Ces valeurs normalisées ont été basées sur les recommandations de Aitken et coll. (1966) et Clay (1961), puis ajustées sur celles de la Marine National Research Institute aux États-Unis (Ruggles, comm. pers. 1995), en fonction des vitesses de nage des poissons. Ces valeurs seraient suffisamment conservatrices selon les données actuellement disponibles et devraient correspondre aux vitesses de courant à respecter au droit des grilles.

Ainsi, au Québec, la vitesse maximale du courant au droit (perpendiculairement) d'une grille déflectrice devrait être de 0,30 m/s pour les saumonneaux et pour la plupart des espèces. Elle peut cependant être ajustée pour certaines espèces selon leur capacité de nage (Tableau 2). Cette vitesse correspond à la vitesse horizontale du courant pour une grille verticale, alors que pour une grille inclinée horizontalement ou verticalement (Figure 5), la vitesse horizontale maximale tolérée peut atteindre 1 à 3 m/s si l'angle de la grille est inférieur à 20°.

Lorsque la grille déflectrice est constituée de barreaux, l'espacement peut varier mais il est généralement de l'ordre de 2 à 2,5 cm actuellement. Toutefois, il devrait être idéalement plus faible, soit de 2 à 3 mm. En effet, les «bar racks» ne sont pas efficaces pour les saumonneaux actuellement. Par ailleurs, lorsqu'il s'agit de grillages, le maillage exigé mesure généralement 2,5 cm de hauteur et entre 1,0 et 1,5 cm de largeur aux États-Unis, alors qu'en Écosse, les dimensions exigées sont de 2,5 cm par 1,2 cm. À l'instar des barreaux, les dimensions idéales du maillage des grilles devraient être dix fois plus réduites. À cet égard, l'utilisation d'un grillage métallique appelé «Wedge-wire screen» est préconisée en raison de sa souplesse et parce qu'il retient moins les débris.

Il est très important que les grilles déflectrices épousent parfaitement le lit de la rivière, sinon les poissons tenteront de se faufiler de chaque côté ou sous la grille et s'infligeront ainsi des blessures. Il est aussi préférable qu'il y ait un angle d'inclinaison, de 10° à 15°, pour optimiser l'efficacité du dispositif. La grille peut être inclinée verticalement ou horizontalement, auquel cas le dispositif s'apparente à des persiennes. L'efficacité peut aussi être améliorée si la grille est éclairée. Lorsque la conception respecte les normes énumérées ci-haut, l'efficacité de déviation du dispositif peut atteindre 100 %. Toutefois, comme il doit être couplé avec d'autres dispositifs pour protéger le poisson en dévalaison jusqu'en aval de la centrale, l'efficacité totale d'un système comprenant une grille n'a jamais atteint 100 % à ce jour.

Des dérivés de ce dispositif ne couvrant que le tiers supérieur («Submerge traveling screen» ou STS) ou la moitié supérieure («Extended-length submersible travelling screen» ou ESTS) de la prise d'eau ont fourni une efficacité maximale inférieure à 90 % et ils ne semblent pas pouvoir être améliorés. Les derniers prototypes du STS ont d'ailleurs fourni des résultats décevants, la mortalité étant plus élevée que lors du passage dans les turbines.

Avantages / inconvénients

Elles peuvent retenir absolument tout, c'est-à-dire que l'efficacité de déviation de cette méthode peut atteindre 100 %, si les espacements sont assez petits et si la grille est inclinée. D'ailleurs, les grilles déflectrices inclinées sont parmi les dispositifs recommandés pour un usage à grande échelle.

Il y a un risque de placage des poissons contre les grilles et, par le fait même, de blessure et de mortalité si la vitesse du courant est plus élevée que la vitesse de nage des poissons. Des problèmes d'écaillage des poissons (0,8 à 26,0 %) ont aussi été notés. Il y a également un risque de prédation ou de placage sur la grille si le poisson ne trouve pas rapidement l'exutoire de dévalaison obligatoirement associé à ce dispositif, particulièrement pour les grilles verticales. La mortalité entraînée par ces inconvénients peut parfois être plus élevée que le passage dans les turbines. Incidemment, en Écosse, les grilles du genre «Bar rack» ont ainsi été systématiquement enlevées pour les chutes de moins de 30 m.

La grille déflectrice peut entraîner une certaine perte de charge, ce qui crée un impact sur le rendement de la centrale. Il y a également des risques de colmatage des grilles. Ce dispositif nécessite donc un entretien adéquat et constant. À cet égard, il existe des systèmes pour nettoyer automatiquement la grille à l'aide de brosses ou de jets d'air. Il faut aussi souligner les contraintes de dimensions liées à la vitesse d'approche recherchée, ce qui accroît les coûts d'achat et d'entretien du dispositif. En effet, pour réduire la vitesse du courant au droit de la grille, il faut parfois en diminuer sensiblement l'inclinaison et, par conséquent, augmenter la dimension de la grille et les coûts associés.

Coûts

Les coûts sont variables selon la dimension du site et le type de grille déflectrice. Il faut généralement investir environ 1000 \$/m² pour les grilles fixes et davantage pour les grilles mobiles en raison des charnières et du mécanisme de défilement.

Sources

Ferguson, 1992; Frankfort et coll., 1994; Mills, 1989; Ruggles, 1992; Ruggles, comm. pers. 1995; Sale et coll., 1991; Struthers, 1993; Taft, 1993; Travade et Larinier, 1992; Tremblay et coll., 1994; Turner et coll., 1993.

5.2.2 Grilles écrémeuses ou *Eicher*

Description

Ces grilles forment un plan incliné, dans la conduite forcée directement en amont de la turbine, afin de diriger les poissons vers le haut de la colonne d'eau et ainsi les faire passer par un exutoire de dévalaison, naturel ou artificiel, annexé au dispositif (Figure 6). La grille est constituée d'une série de barres parallèles espacées d'environ 2 à 3 mm. La grille est inclinée de 15° à 20° et permet des vitesses moyennes, au droit de la grille, allant jusqu'à 1 m/s; la vitesse effective augmentant de l'amont vers l'aval de la grille. Au-delà de cette vitesse, les risques de blessures et d'écaillage s'accroissent. Pour demeurer en deçà de ce seuil de vitesse au droit de la grille, la vitesse limite suggérée dans la conduite forcée doit demeurer inférieure à 2,4 m/s. Par ailleurs, la vitesse du courant à l'entrée de l'exutoire doit être assez élevée, soit au moins 90 % de la vitesse dans la conduite forcée. Elle peut aussi être légèrement supérieure à cette dernière. L'efficacité obtenue se situe au-delà de 98 % pour les saumonneaux et au-delà de 91 % pour les alevins de diverses espèces de salmonidés.

Un dispositif dont la porosité de la grille est variable a été conçu mais, malgré les bons résultats obtenus puisqu'elle permet de hausser la vitesse du courant de 10 % dans la conduite forcée, son impact sur l'efficacité ne serait pas significatif.

Une autre version de ce dispositif alliant certaines caractéristiques des grilles Eicher, une grille modulaire, a été testée en laboratoire. Elle a été installée dans une prise d'eau avec un angle de 15° et a fourni une efficacité supérieure à 92 % à des vitesses de courant variant de 0,6 à 3,05 m/s. La taille des poissons testés s'échelonnait de 47 à 170 mm pour les espèces suivantes : la barbotte brune, les crapets, le doré jaune, les saumons atlantique, chinook et coho, ainsi que les truites arc-en-ciel et brune. Pour cette grille également, la vitesse limite suggérée dans la conduite forcée est de 2,4 m/s pour éviter les risques d'écaillage et de blessures.

performants que ceux qui induisent une réaction d'évitement basée sur la peur, sauf s'il s'agit d'une prise d'eau non associée à un barrage (ex.: irrigation, centrale thermique), où il n'est pas nécessaire de diriger le poisson vers un endroit en particulier.

Trois dispositifs ne sont pas présentés en détail, soit : l'écran de jets d'eau, l'écran de lames souples et la stimulation chimique. L'écran de jets d'eau est non recommandé actuellement en raison de coûts d'utilisation trop élevés et du manque de données disponibles sur son efficacité (EPRI, 1986). L'écran de lames souples, constitué de fines bandes de métal qui peuvent tourner dans le courant, est encore à l'étape des premiers essais. Des expériences préliminaires démontrent une efficacité de déviation de 33,3 % pour le saumon avec un système où les lames étaient intercalées entre des chaînes avec un espacement de 20 cm entre chaque composante (Tremblay, 1994). Il nécessite de nouvelles études pour statuer sur son véritable potentiel d'utilisation. La stimulation chimique n'a pas fourni de résultats concluants; elle est très coûteuse, les frais seraient récurrents et, surtout, les dangers d'accumulation dans l'environnement sont inconnus (EPRI, 1986).

5.3.1 Persiennes

Description

Les persiennes sont constituées d'un rideau de lames de plastique rigides dirigeant le poisson vers un exutoire (Figure 8). Elles peuvent être fixes ou flottantes. Dans ce dernier cas, elles peuvent mesurer seulement 2 m de hauteur si la conception de l'exutoire empêche les retours de courant. Idéalement, la structure des persiennes doit être disposée à un certain angle (10° à 15°) par rapport au courant de la rivière et l'efficacité diminue lorsque cet angle augmente. Chacune des persiennes doit être à peu près perpendiculaire au courant. L'espace moyen entre celles-ci varie selon la vitesse du courant. L'espacement maximum testé à ce jour est de 30 cm pour le saumon atlantique. L'efficacité de déviation serait meilleure à de faibles espacements (2,5 cm) pour plusieurs autres espèces dont la barbotte et l'éperlan. Pour l'aloose savoureuse, un espacement de 15,2 cm fournit de meilleurs résultats que s'il est de 7,6 cm, la vitesse de transit des poissons qui longent les persiennes étant supérieure pour le plus grand espacement. Par ailleurs, un décroissement de cet espacement, de l'amont vers l'aval, permet de réduire la vitesse requise à l'exutoire.

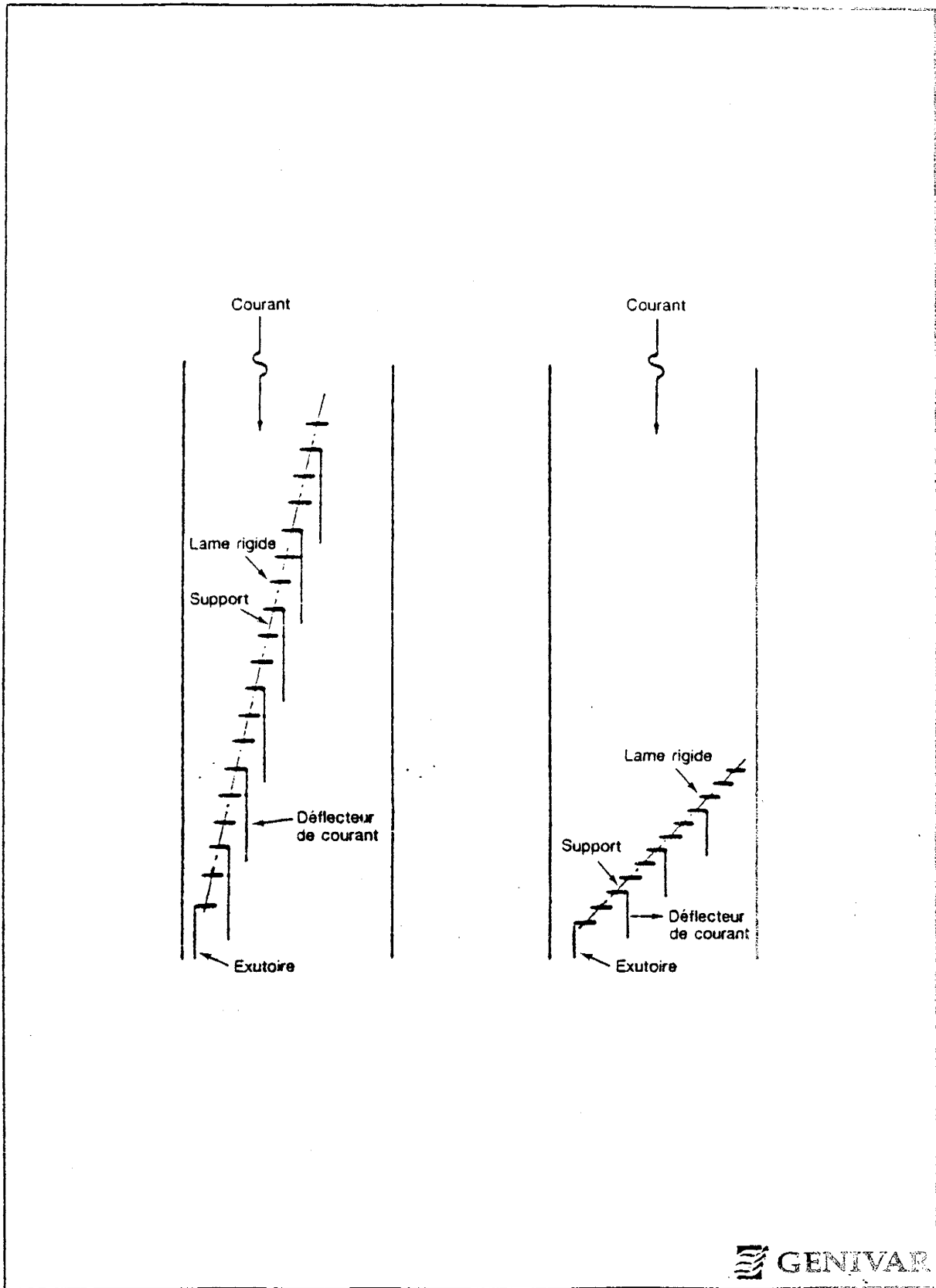


FIGURE 8. Représentation schématique d'une persienne (Tiré de EPRI, 1986).

Les poissons ont tendance à s'orienter face au courant et, habituellement, ne changent pas brusquement de direction. En approchant des persiennes, ils ressentent une certaine turbulence et une diminution de la vitesse du courant et s'en éloignent latéralement. Ils longent ainsi le mur de persiennes et se dirigent vers un exutoire de dévalaison adéquat (naturel ou artificiel).

La vitesse du courant entre les persiennes doit être plus faible que la vitesse de nage des poissons. Par contre, la vitesse le long des persiennes doit être plus grande que la vitesse de nage afin d'attirer les poissons vers l'exutoire de dévalaison. Pour minimiser la perte de charge, les persiennes sont généralement munies de déflecteurs ou redresseurs de courant répartis à intervalles réguliers le long de la ligne de persienne. Pour la même raison, elles sont surtout utilisées durant la période de migration du poisson. Le déflecteur est constitué par le prolongement d'une lame et sa bifurcation le long de la ligne de persiennes (Figure 8). La vitesse du courant dans l'exutoire doit être environ 1,4 fois la vitesse d'écoulement à l'approche de l'écran de persiennes. S'il y a une baisse de la vitesse entre le dispositif et l'exutoire, l'efficacité diminue. De même, s'il y a un accroissement trop rapide de la vitesse entre ces deux points, l'effet est le même.

L'efficacité de déviation de ce dispositif varie entre 50 et 100 %, mais se situe généralement au-delà de 80 %. Une excellente efficacité de déviation a été démontrée pour les salmonidés adultes ou juvéniles (alose, saumon atlantique, saumon chinook, truite arc-en-ciel). Par contre, elle est faible pour les alevins et les très petits individus (< 5 cm).

Les persiennes fixes offrent de bons résultats à des vitesses de courant se situant entre 0,4 et 1,0 m/s, mais elles sont plus efficaces à des courants supérieurs à 1,0 m/s, surtout pour les salmonidés. Toutefois, lorsqu'il s'agit de persiennes flottantes, la vitesse du courant ne devrait pas excéder 1 m/s. Les meilleurs rendements sont obtenus lorsque le dispositif est installé dans le canal d'amenée d'eau de la centrale. Les persiennes sont considérées au titre de meilleur dispositif comportemental à ce jour, particulièrement pour les cours d'eau où la vitesse du courant est élevée.

Avantages / inconvénients

Elles sont présentement utilisées dans des aménagements hydroélectriques où elles démontrent des résultats satisfaisants.

Ce dispositif peut entraîner une certaine perte de charge, ce qui crée un impact mineur sur le rendement de la centrale. Il existe un risque de colmatage et il nécessite donc un entretien adéquat. Les persiennes doivent sporadiquement être enlevées afin d'être grattées. Elles s'avèrent inefficaces lorsque la vitesse du courant est trop faible ($< 0,3$ m/s) et variable ou lorsque la rivière est trop profonde.

Coûts

Ils sont très variables selon la structure de soutien choisie, mais généralement supérieurs à 100 000 \$ pour les persiennes fixes et de l'ordre de 500 \$ le mètre linéaire pour les flottantes.

Sources

Bates et Vinsonhaler, 1956; Ducharme, 1972; EPRI, 1986; Francfort et coll., 1994; Mills, 1989; Ruggles, 1980; 1992; Ruggles, comm. pers. 1994; Ruggles, comm. pers. 1995; Ruggles et Collins, 1980; Ruggles et Ryan, 1964; Ruggles et coll., 1993; Travade et Larinier, 1992; Tremblay et coll., 1994; Vinsonhaler et coll., 1958; Buerkett, 1994.

5.3.2 Lampe au mercure

Description

Ce système d'éclairage attire les poissons afin qu'ils passent par un exutoire de dévalaison sécuritaire, naturel ou artificiel (*by-pass*). Cependant, cet effet attractif se transforme en effet répulsif lorsque les poissons s'en rapprochent trop. L'efficacité de déviation de ce dispositif est spécifique et il se situe entre 80 et 100 % pour la plupart des espèces étudiées, particulièrement les espèces d'eaux chaudes et celles d'eaux profondes. Elle demeure toutefois très variable pour certaines espèces (aloses) et le dispositif s'avère tout à fait inefficace pour d'autres (doré jaune, barbottes, achigan à

grande bouche), dont les espèces pélagiques et certains salmonidés (saumons atlantique, chinook, coho et sockeye). Ce serait un des meilleurs dispositifs pour l'anguille en raison de son comportement lucifuge. Les lampes au mercure sont significativement plus efficaces lorsqu'elles sont utilisées en combinaison avec d'autres dispositifs. La plupart des expériences ont été faites avec des lampes dont la longueur d'onde varie entre 430 et 580 nm.

Avantages / inconvénients

Les frais d'installation et d'entretien sont mineurs. L'installation ne nécessite aucun arrêt ou modification du rendement de la centrale sur une période prolongée. Ce dispositif peut être théoriquement utilisé dans tout cours d'eau, indépendamment de ses dimensions, du débit et de la vitesse du courant. Toutefois, la vitesse du courant pourrait devenir limitante en vertu de la capacité natatoire du poisson.

Ces lampes sont maintenant adaptées pour une utilisation aquatique, mais leur efficacité de déviation varie toujours en fonction de la température, de la turbidité et de la lumière naturelle. Certaines études faites en laboratoire démontrent que les lampes au mercure ne provoquent aucun changement de comportement chez les saumons et, devant ces résultats, aucun essai *in situ* n'a été réalisé.

Coûts

Les coûts sont actuellement de 500 \$ par lampe. Pour le modèle qui n'est pas sous-marin, il s'agit de lampes semblables à celles qui éclairent les lieux publics. Pour les modèles sous-marins, ce sont les lampes généralement utilisées pour les travaux effectués en immersion. Le nombre requis et les coûts d'installation varient selon le site. Il n'y a pas de frais d'entretien pour le modèle terrestre alors que pour l'autre, un nettoyage fréquent est nécessaire.

Sources

EPRI, 1986; 1990; Gibson et Keenleyside, 1966; Kynard, 1993a; Larinier et Boyer-Bernard, 1991; Patrick, 1985; Robitaille, 1994; Ruggles, comm. pers. 1995; Taft, 1990; 1993; Tremblay et coll., 1994.

TABLEAU 4. Évaluation comparative de divers dispositifs protégeant le poisson en dévalaison.

Dispositif	Exutoire requis	Sélectivité	Efficacité	Affecte le turbinage	Entretien et opération	Vitesse de courant toléré (m/s)	Facteurs limitants	Coût d'achat	Remarques
<i>EXUTOIRE DE DÉVALAISON</i>									
Déversoir («Spillway»)	Non	Faible	DI	Oui	Mineur	Toute	Hauteur de chute (< 30 à 40 m), prédateurs piscivores	Généralement inclus dans ceux du barrage	Problèmes potentiels : stress, sursaturation d'azote, blessures par contact, prédation
Canal d'évacuation	Non	Faible	15-93 %	Oui	Moyen	≤ 15	Prédateurs piscivores	Variable	Peut provoquer du stress et un retard dans la migration
<i>BARRIÈRES physiques</i>									
Grille déflectrice	Oui	Faible	74-100 %	Oui	Majeur	0,30 DG	Angle de la grille (10-15°)	≥1000 \$/m ²	Risque de blessure au poisson
Grille écrémeuse ou Eicher	Oui	Faible	91-99 %	Oui	Variable	< 2,4 (≤1,0 DG)	Angle de la grille (15-20°)	3-5000 \$/m ²	Possible d'avoir une grille autonettoyante
Grille rotative	Oui	Faible	DI	Oui	Majeur	< 0,15	Profondeur de la rivière (< 2 m)	500 000 \$	Meilleure avec un angle p/r courant
<i>BARRIÈRES COMPORTEMENTALES</i>									
Persienne	Oui	Faible	50-100 %	Variable	Mineur	> 0,4 (fixe) ≤ 1,0 (flottante)	Angle de la grille (10-15°)	1 000 000 \$ (fixe) 500 \$/m (flottante)	Choix dépend du site (profondeur, courant)
Lampe au mercure	Oui	Élevée	0-100 %	Non	Mineur	Faible DCNP (DI)	Température, turbidité, lumière naturelle	500 \$/lampe (sans l'installation)	Peu efficace pour les salmonidés
Stroboscope	Oui	Moyenne	20-98 %	Non	Mineur	< 1,0	Turbidité, lumière naturelle	5 000 \$/unité	Peu efficace pour les salmonidés
Écran sonore	Oui	Élevée	0-100 %	Non	Moyen	Faible DNCP	Usure d'un joint pour «Popper»	20 000 - 30 000 \$ minimum	Adopté à chaque site et espèce

Note : DI : données insuffisantes DCNP : dépend de la capacité natatoire du poisson DG : au droit de la grille.

TABLEAU 4 (suite). Évaluation comparative de divers dispositifs protégeant le poisson en dévalaison.

<i>Dispositif</i>	<i>Exutoire requis</i>	<i>Sélectivité</i>	<i>Efficacité</i>	<i>Affecte le turbinage</i>	<i>Entretien et opération</i>	<i>Vitesse de courant toléré (m/s)</i>	<i>Facteurs limitants</i>	<i>Coût d'achat</i>	<i>Remarques</i>
Champ électrique	Oui	DI	40-84 %	Non	Moyen	< 0,3	Qualité de l'eau, température	200 000 \$	Pas parfaitement sécuritaire pour le poisson et le personnel
Écran de chaînes	Oui	Élevée	0-90 %	Non	Mineur	Faible (DI)	Lumière, turbidité Angle de 57°	6 000 - 150 000 \$	Problème avec les débris
Écran de bulles	Oui	Élevée	0-98 %	Non	Moyen	Faible (DI)	Température, turbidité, lumière	20 000 \$	Technologie abandonnée
Hybride	Oui	Variable	Variable	Variable	Variable	Variable	Variable	Variable	Dépend de la combinaison
Système de collecte et de transport	Non	Faible	DI	Non	DI	DI	Stress dû aux manipulations	DI	Requiert un système de capture

Note : DI : données insuffisantes DCNP : dépend de la capacité natatoire du poisson DG : au droit de la grille.

8. CONCLUSION

La protection des poissons en dévalaison aux sites de petites centrales hydroélectriques est un nouveau domaine au Québec où l'expertise est à développer. À cet égard, il est primordial d'identifier clairement la problématique et d'uniformiser la méthodologie d'analyse des projets.

La mortalité induite lors de la dévalaison des poissons aux sites de petites centrales hydroélectriques peut survenir à trois endroits : en amont du barrage par collision ou par prédation; lors du passage dans les turbines s'il y a un entraînement suffisant; ou en aval du barrage à la suite d'une collision, d'une chute, d'une sursaturation de l'eau en azote ou d'une prédation accrue.

L'intensité de la mortalité induite par le passage des poissons via une turbine est très variable selon les caractéristiques de la turbine, celles du site, selon l'espèce de poisson considérée, ainsi que selon la méthode d'estimation utilisée. Elle a été fréquemment surestimée en raison de problème méthodologique ayant entraîné des biais dans l'évaluation. À cet égard, les niveaux de mortalité les plus faibles mentionnés, pour un type de turbine et des caractéristiques données, sont les plus susceptibles d'être représentatifs de la réalité.

Les sources de biais d'échantillonnage les plus fréquentes comprennent : des installations opérant selon un rendement partiel; un taux de mortalité élevé dans le groupe de poissons témoin ou l'absence de ce groupe; le stress des poissons dû aux manipulations; un taux de recapture de poissons très faible; l'utilisation d'engins ou de méthodes de pêche inadéquats; l'utilisation de poissons introduits, provenant de pisciculture; et la mortalité latente qui n'est pas apparente le jour du test.

Les méthodes d'évaluation recommandées sont : l'utilisation d'engins de capture à la sortie de la turbine, la méthode de capture, marquage et recapture, la télémétrie ou l'hydroacoustique pour évaluer l'entraînement des poissons vers les turbines; l'utilisation d'engins de pêche au niveau de la turbine, la méthode de capture, marquage puis recapture ou l'utilisation de ballons gonflables pour évaluer la mortalité induite lors du passage des poissons dans les turbines.

Il semble que, de manière générale, le taux de mortalité soit rarement en deçà de 10 % pour les turbines de type Francis et qu'il varie généralement entre 5 % et 20 %, pour une moyenne de 15 %, pour les turbines à hélices. Toutefois, pour les espèces résidentes, il est en moyenne de 6 % et peut être de seulement 1 % à 2 % pour ces deux types. Pour les autres types de turbines, la vitesse de rotation élevée et la faible distance entre les pales engendrent un niveau de mortalité qui atteint pratiquement 100 % en toutes circonstances.

Il n'existe pas de dispositifs protégeant le poisson en dévalaison qui soient parfaitement efficaces actuellement, quelle que soit la configuration du site. Il est prématuré de choisir un dispositif unique pour tous les projets. Les sites doivent être étudiés individuellement afin d'identifier le dispositif le plus adéquat pour chacun d'eux et des suivis sont nécessaires pour statuer sur leur efficacité

Actuellement, trois types de dispositifs se démarquent et sont recommandés pour un usage à grande échelle, soit : les grilles déflectrices inclinées, les persiennes et les grilles rotatives ayant un angle avec le courant, cette dernière n'étant cependant pas conçue pour les petites centrales hydroélectriques. Les grilles écrémeuses de types Eicher ou modulaire sont également très prometteuses et elles seraient ajoutées à cette liste si leur développement n'était pas si récent. Parmi les autres dispositifs susceptibles d'être développés et testés dans un proche avenir, on retrouve les lampes au mercure, les stroboscopes, les barrières sonores et les grilles déflectrices verticales; ces dispositifs ne peuvent cependant être utilisés que lorsque les vitesses de courant sont faibles.

Les exutoires constituent des cas particuliers puisqu'ils sont nécessaires aux autres dispositifs. Leur efficacité globale peut être accrue si leur conception est adéquate et s'ils sont couplés à des dispositifs qui orientent les poissons vers ceux-ci.

Ces dispositifs se démarquent en raison de leur efficacité. Actuellement, pour les travaux portant sur ce sujet dans le contexte de la dévalaison de poissons migrateurs, la proportion d'individus survivant à la migration semble être la définition d'efficacité la plus répandue et la plus valable. Cela signifie qu'il faut prendre en compte les phénomènes pré et post-dévalaison, comme la mortalité latente ou la prédation en amont ou en aval de l'obstacle, dans cette estimation.

Comme il n'existe pas à ce jour de dispositifs universels, les principales considérations qui doivent être prises en compte dans l'évaluation de la problématique d'un site particulier sont les suivantes : le nombre de centrales sur le cours d'eau, la standardisation de la méthode d'analyse des projets, la nécessité de reconnaître que chaque site est particulier et que la solution à envisager est unique, ainsi que la définition de l'efficacité et de la garantie de performance.

Par ailleurs, les considérations générales de conception d'un dispositif sont : le potentiel piscicole d'un cours d'eau; le comportement du poisson à l'approche d'un dispositif; la connaissance de l'hydrologie du site; la configuration générale du site; les variations de vitesse et l'orientation des lignes de courant; l'évaluation du taux de mortalité dans les turbines; le choix des turbines; le choix du dispositif protégeant le poisson, son suivi et son entretien.

Le cheminement proposé dans l'élaboration d'un projet de petites centrales en regard avec la dévalaison du poisson est le suivant : évaluer si un dispositif protégeant le poisson est requis en se basant particulièrement sur les espèces présentes, la mortalité dans les turbines (type et caractéristiques des turbines, taille des poissons, hauteur de chute), l'entraînement dans les turbines (configuration du site, % débit turbiné) et le nombre de centrales existantes sur le cours d'eau; effectuer des mesures (hydraulicité, comportement du poisson...); en faire le bilan; identifier les dispositifs potentiels, le dispositif optimal et faire un choix final approuvé par les divers intervenants dans le dossier; définir les critères de conception; effectuer les plans et devis; obtenir l'autorisation gouvernementale; réaliser le dispositif; faire le bilan de son efficacité; et en faire le suivi.

Les dispositifs protégeant le poisson en dévalaison devraient être conçus en fonction des espèces migratrices seulement et être utilisés uniquement aux périodes de dévalaison. À celles-ci peuvent s'ajouter les espèces menacées ou vulnérables.

Il est essentiel qu'une approche rigoureuse mais souple soit uniformisée dans ce domaine. Tous les intervenants doivent être conscients de la complexité de la problématique et de l'absence de solution unique tracée d'avance. Une collaboration est requise entre les ministères responsables des dossiers de petites centrales, les

promoteurs et les organismes qui exploitent les ressources sur les cours d'eau où un projet est prévu. Enfin, rappelons que l'expérience et la compétence de ceux qui feront l'analyse des projets seront déterminants pour leur rentabilité économique et environnementale.

9. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AITKEN, P.L., DICKERSON, L.H., MENZIES, W.J.M. 1966. «Fish passes and screens at water power works», *Proc. Inst. Civ. Eng.*, 35:29-57.
- BARWICK, D.H. et L.E. MILLER. 1990. *Effectiveness of an electrical barrier in blocking fish movements*. Prepared by Duke Power compagny, Production environnemental Services. 5 p. + annexes.
- BATES, D.W. et R. VINSONHALER. 1956. «Use of louvers for guiding fish», *Trans. Amer. Fish. Soc.* 86: 38-57.
- BELL, M.C. 1990. *Revised Compendium on the Success of Passage of Small Fish Through Turbines*. University of Wahsington College of Fisheries. 83 p.
- BELL, M.C. 1991. *Fisheries Handbook of Engineering Requirements and Biological Criteria*. Corps of Engineers, North Pacific Divison, Portand, Oregon. s.p.
- BIOREX INC. 1992. *Guide d'évaluation des projets d'infrastructures linéaires en relation avec les habitats du poisson*. Rapport préparé pour le ministère des Pêches et des Océans du Canada.
- BUERKETT. C.G. 1994. *Passage and Behavior of Adult American Shad in an Experimental Louver Bypass System*. Thèse de maîtrise en science présentée à University of Massachusetts Amherst, Department of Forestry and Wildlife Management. 47 p.
- CADA. G.F. 1990. «Assessing Fish Mortality Rates», *Hydro Review*, p. 52-60. February 1990.
- CADA, G.F. et M.J. SALE. 1993. «Status of Fish Passage Facilities at Nonfederal Hydropower Projects» *Fisheries*, Vol. 18, n° 7.
- CLAY, C.H. 1961. *Design of fishway and other fish facilities*. Dept. of Fisheries, Ottawa. Canada. 301 p.
- CLOUTIER, A. et R. COUTURE. 1985. *Caractéristiques et dynamique du stock de poulamons atlantiques *Microgadus tomcod* (Walbaum) de la rivière Saint-Anne, La Pérade, Québec*. Rapport technique n° 8 du Comité d'étude sur le poulamon atlantique, Direction générale de la faune, Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche. 120 p.
- DARTIGUELONGUE, J. 1988. *Contribution à l'étude de la mortalité des poissons au passage des turbines d'installation hydroélectrique: méthodologie et analyse des données*. Thèse de doctorat présentée à l'institut national polytechnique de Toulouse, France, 200 p. + 6 annexes.
- DARTIGUELONGUE, J. et M. LARINIER. 1987. «Évaluation des dommages subis par les juvéniles lors de leur passage à travers les turbines des microcentrales de St-Pée-sur-Nivelle et Lailhacar (Pyrénées Atlantiques)» *Restauration des rivières à saumon*. INRA, Paris. p. 175-182.

-
- DAWLEY, E.M., LEDGERWOOD, R.D., GILBREATH, L.G., BENTLEY, P.J. et S.J. GRABOWSKI. 1993. «Do Bypass Systems Protect Juvenile Salmonids At Dams?» *Proceeding of a Symposium on Fish Passage Policy and Technology. Portland, Oregon, U.S.A. Bioeng. Sec. Am. Fish. Soc.* p. 161-168.
- DEHART, D.A. 1993. «Passage Mitigation at Main Stem Columbia River Dams - How Well Is It Working», *Proceeding of a Symposium on Fish Passage Policy and Technology. Portland, Oregon, U.S.A. Bioeng. Sec. Am. Fish. Soc.* p. 11-15.
- DESROCHERS, D. 1994. Centrale Mitis 1. *Étude sur la survie de saumonneaux qui traversent une turbine. Rapport préparé par Milieu et Associés inc. pour le service Ressources et Aménagements du territoire, vice-présidence Environnement, Hydro-Québec, 57 p.*
- DESROCHERS, D. 1995. *Suivi de la migration de l'anguille d'Amérique (Anguilla rostrata) au complexe Beauharnois, 1994. Rapport préparé par Milieu et Associés inc. pour le service du Milieu naturel, vice-présidence Environnement, Hydro-Québec. 107 p.*
- DESROCHERS, D., ROY, R., COUILLARD, M. et R. VERDON. 1993. «Behaviour of Adult and Juvenile American Shad (*Alosa sapidissima*) Moving Toward a Power Station», *Proceedings of the Workshop on fish passage at hydroelectric developments : March 26-28, 1991, St. John's, Newfoundland. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. n° 1905. p. 106-127.*
- DUCHARME, L.J.A. 1972. «An application of louwer deflectors for guiding Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts from power turbines» *J. Fish. Res. Board Canada, 29:1397-1404.*
- EAST, P. et P. MAGNAN. 1988. *Étude de la vitesse de nage du poulamon atlantique (Microgadus tomcod) en relation avec les travaux de la traversée du fleuve Saint-Laurent par la ligne Radisson—Nicolet—Des-Cantons. Laboratoire de recherche sur les communautés aquatiques. Université du Québec à Trois-Rivières, pour le service Recherches en environnement et santé publique, vice-présidence Environnement, Hydro-Québec, 18 p. et annexe.*
- EICHER, G.J. 1993. «Turbine related fish mortality». *Proceedings of the Workshop on Fish Passage at Hydroelectric Developments, March 26-28, 1991 St. John's, Newfoundland. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. n° 1905. p. 21-31.*
- EICHER, G.J., BELL, M.C., CAMPBELL, C.J., CRAVEN, R.E. et M. A. WERT. 1987. *Turbine-related fish mortality: review and evaluation of studies. Final report prepared for Electric Power Research Institute (EPRI). Research Project 2694-4. 89 p.*
- EPRI (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE). 1986. *Assessment of downstream migrant fish protection technologies for hydroelectric application. Stone and Webster Engineering Corporation. Boston Massachusetts, 322 p.*

-
- EPRI. 1990. *Fish protection systems for Hydro plants; test results*. Stone and Webster Engineering Corporation. Boston Massachusetts, 217 p.
- ERHO, M.W., JOHNSON, G.E. et C.M. SULLIVAN. 1987. *The salmonid smolt bypass system at wells dam on the Columbia River*. Presented at the Conference on fish protection at stream and hydropower plants electric power research institute. San Francisco, California, October 28-30 1987. 13 p.
- FERGUSON, J.W. 1992. «Analyzing turbine bypass systems at hydro facilities», *Hydro review* p. 46-56.
- FERGUSON, J.W. 1993. «Improving Fish Survival through Turbines», *Hydro Review*, Avril 1993, p. 54-61.
- FLETCHER, R. I. 1994. «Flows and Fish Behavior : Large Double-Entry Screening Systems», *Transactions of American Fisheries Society* 123 : 866-885.
- FRANCFORT, J.E., CADA, G.F., DAUBLE, D.D., HUNT, R.T. RINEHART, B. N., SOMMERS, G. L. et R.J. COSTELLO. 1994. *Environmental mitigation at hydroelectric projects, vol II. Benefits and costs of fish passage and protection*. Prepared for the U.S. Department of energy. Idaho National Engineering Laboratory. EG&G Idaho, inc. Idaho Falls, Idaho, 303 p.
- FRIED, S.M., J. D. McCLEAVE et G.W. LABAR. 1978. «Seaward migration of hatchery-reared Atlantic salmon, *Salmo salar*, smolts in the Penobscot River estuary, Maine: riverine movements», *J. Fish. Res. Board Can.* 35:76-87.
- GAUTHIER, J.-M. 1989. *Le passage des poissons dans les turbines: revue de la problématique*. Service recherches en environnement et santé publique, vice-présidence Environnement, Hydro-Québec, Montréal, 112 p. et annexes.
- GIBSON, R.J. et M.H.A. KEENLEYSIDE. 1966. «Responses to light of young Atlantic salmon and brook trout», *J. Fish. Res. Board Canada* 23: 1007-1021.
- HEISEY, P.G, MATHUR, D. et T. RINEER. 1992. «A reliable tag-recapture technique for estimating turbine passage survival: application to young-of-the-year American shad (*Alosa sapidissima*)», *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49:1826-1834.
- HILGERT, P.J. 1992. *Evaluation of a Graduated Electric Field a fish exclusion device*. Report to Puget Sound Power & Light Company Environmental Sciences. s.p.
- JONES, D.R., KICENIUK, J.W. et O.S. BAMFORD. 1974. «Evaluation of the Swimming Performance of Several Fish Species from the Mackenzie River», *J. Fish. Res. Board Can.* 31:1641-1647.
- KYNARD, B.E. 1993a. «Fish Behavior Important For Fish Passage» *Proceeding of a Symposium on Fish Passage Policy and Technology. Portland, Oregon, U.S.A. Bioeng. Sec. Am. Fish. Soc.* p. 129-134.

-
- KYNARD, B.E. 1993b. «Anadromous Fish Behaviour Important for Fish Passage», *Proceedings of the Workshop on fish passage at hydroelectric developments : March 26-28, 1991, St. John's, Newfoundland*. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. n° 1905. p. 95-105
- LA HAYE, M. et M. HUOT. 1995. Situation du suceur cuivré (*Moxostoma hubbsi*) au Québec : espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable, Québec, Le Groupe de Recherche SÉEEQ ltée pour le ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, 50 p.
- LANDRY, J. et C. GRONDIN. 1992. *Inventaire de quelques moyens utilisés pour attirer, éloigner ou orienter les poissons et évaluation d'une utilisation possible de ces systèmes en milieux humides*. Entente cadre concernant un plan quinquennal pour la protection et l'aménagement des habitats fauniques. Volet 1.G Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec et Canards Illimités Canada, Québec. 119 p.
- LARAMÉ, P. et R. FORTIN. 1982. *Reproduction et développement embryonnaire du poulamon atlantique *Microgadus tomcod* (Walbaum) dans la rivière Saint-Anne, Comté de Champlain, Québec*. Rapport technique n° 10 du Comité d'étude sur le poulamon atlantique, Direction générale de la faune, Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche. 31 p.
- LARINIER, M. 1992. «Facteurs biologiques à prendre en compte dans la conception des ouvrages de franchissement, notions d'obstacles à la migration» *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 326-327: 20-29.
- LARINIER, M. 1993. «L'expérience française des micro-centrales hydroélectriques», *Le développement du Saumon atlantique au Québec: connaître les règles du jeu pour réussir*. Colloque international de la Fédération québécoise pour le saumon atlantique. Québec, décembre 1992. p. 65-69.
- LARINIER, M. et J. DARTIGUELONGUE. 1989. «La circulation des poissons migrateurs: le transit à travers les turbines des installations hydroélectriques», *Bull. Pêche Pisci.* n°s 312-313, 90 p.
- LARINIER, M. et S. BOYER-BERNARD. 1991. «Dévalaison des smolts et efficacité d'un exutoire de dévalaison à l'usine hydroélectrique d'Halsou sur la Nive», *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 321: 72-92.
- LAVOIE, J.-G. 1983. *Les aspects environnementaux reliés au franchissement des barrages par l'ichtyofaune*. MENVIQ, Direction générale de l'amélioration et de la restauration du milieu aquatique, 220 p. + annexe.
- LE GROUPE DRYADE LTÉE. 1994. *Guide législatif concernant l'évaluation de projets en matière d'environnement au Québec*. Document présenté au ministère des Pêches et des Océans, Région du Québec. 63 p. et annexes.
- LÉVESQUE, F. et P. MAGNAN. 1984. *Bibliographie annotée sur le saumon noir*. Rapport présenté par Gilles Shooner inc. pour la division de l'habitat du poisson du ministère des Pêches et des Océans. 102 p. et annexes.

-
- LOEFFELMAN, P.H., KLINECT, D.A. et J.H. VAN HASSEL. A Behavioral Guidance System for Fish Using Acoustics Customized to Target Fish Hearing. Manuscript submitted to Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 43 p.
- MATOUSEK, A., WELLS, A.W., HECHT, J.H. et S.G. METZGER. 1994. «Reporting Survival Results of Fish Passing through Low-Head Turbines. Finding from investigations at four Michigan hydroelectric plants indicate low to moderate mortality rates among fish passing through turbines», *Hydro Review*, Mai 1994.
- MATHUR, D. et P.G. HEISEY. 1992. «Debunking the Myths about Fish Mortality At Hydro Plants», *Hydro Review*, Avril 1993, p. 54-60.
- MILLS, D.H. 1989. *Ecology and Management of Atlantic Salmon*. Chapman and Hall Ltd, Londres et New-York, 351 p.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE. 1994a. *Projet de politique sur la faune*. Version de mai 1994. 48 p. + 1 annexe.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE. 1994b. *Cadre d'analyse des projets de petites centrales hydroélectriques*. Document de régie interne.
- MONTÉN, E. 1985. *Fish and turbines*. Vattenfall, Stockholm, 111 p.
- MUNRO, W.R. 1965. *Effects of passage through hydroelectric turbines on salmonids*. ICES Salmon & Trout Comm. CM 1965. N° 57, 5 p.
- NEITZEL, D.A., ABERNETHY, C.S. et E.W. LUSTY. 1991. «Evaluation of rotating drum screen facilities in the Yakima river basin, south-central Washington state», *American Fisheries Society Symposium*, 10: 325-334.
- PARENT, S. 1990. *Dictionnaire des sciences de l'environnement*. Éditions Broquet inc. Ottawa. 748 p.
- PROVOST, J., VERRET, L. et P. DUMONT. 1984. *L'alose savoureuse au Québec : synthèse des connaissances biologiques et perspectives d'aménagement d'habitats*. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 1793:xi+ 114 p.
- ROBERT, P. *Dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française*, nouv. éd. rev., corr. et mise à jour, Paris, Société du nouveau Littré, 1991, 2171.
- ROBINSON, D.A., MATHUR, D et P.G. HEISEY. 1994. «Turbine-Passage Mortality of Juvenile American Shad at a Low-Head Hydroelectric Dam», *Transaction of the American Fisheries Society*. 123:108-111.
- RUGGLES, C.P. 1980. *Downstream Atlantic salmon passage study*. Report submitted to Canada Department of Fisheries and Oceans by Montréal Engineering Company limited, 194 p. et annexes.
- RUGGLES, C.P. 1992. *What's new in downstream fish passage?* Paper presented in the Fourth International Atlantic Salmon Symposium. St-Andrews, New Brunswick, Canada, June 14-17, 22 p.

-
- RUGGLES, C.P. 1993. «Effect of stress on Turbine Fish Passage Mortality Estimates», *Proceedings of the Workshop on fish passage at hydroelectric developments : March 26-28, 1991, St. John's, Newfoundland*. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. n° 1905. p. 39-57.
- RUGGLES, C.P. et D.G. MURRAY. 1983. «A Review of Fish Response to Spillways», *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* n° 1172. 31 p.
- RUGGLES, C.P. et N.M. COLLINS. 1980. *Mortalité des poissons en fonction des propriétés hydrauliques des turbines*. Association Canadienne de l'électricité. Section recherche et développement, Montréal, Québec; projet G144. Monenco, Halifax, N.-É., 108 p. + annexes.
- RUGGLES, C.P. et P. RYAN. 1964. «An investigation of louvers as a method of guiding juvenile Pacific salmon», *Canadian Fish Culturist*. 33: 1-68.
- RUGGLES, C.P. et T.H. PALMETER. 1989. «Fish Passage Mortality in a Tube Turbine», *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1664:58 p.
- RUGGLES, C.P., MURRAY, D.G. et T.M. HUMES. 1981. *Fish mortality as a function of spillway characteristics*. Rapport préparé pour Canadian Electrical Association par Montréal Engineering Company limited. s.p.
- RUGGLES, C.P., PALMETER, T.H. et K.D. STOKESBURY. 1990. *A critical examination of turbine passage mortality estimates*. Report prepared by Monenco Maritimes Limited for the Canadian Electrical Association. Nova Scotia.
- RUGGLES, C.P., ROBINSON, D.A. et R.J. STIRA. 1993. «The use of floating louvers for guiding Atlantic salmon smolts from hydroelectric turbine intakes», *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1905:87-94.
- SALE, M.J., CADA, G.F., CHANG, L.H., CHRISTENSEN, S.W., RALLSBACK, S.F., FRANCFORT, J.E., RINEHART, B.N. et G.L. SOMMERS. 1991. *Environmental mitigation at hydroelectric projects. Volume 1. Current Practices for Instream Flow Needs, Dissolved Oxygen, and Fish Passage*. Prepared for the U.S. Department of Energy, Assistant Secretary for Conservation and Renewable Energy Under DOE Idaho Field Office.
- SCOTT, W.B. et E.J. CROSSMAN. 1974. *Poisson d'eau douce du Canada*. Ministère de l'Environnement, Service des pêches et des sciences de la mer. Ottawa. 1026 p.
- SMITH, H.A. 1993. «Development of a Fish Passage Solution at the Puntledge Hydro Intake Facility», *Proceeding of a Symposium on Fish Passage Policy and Technology. Portland, Oregon, U.S.A. Bioeng. Sec. Am. Fish. Soc.* p. 197-204.
- SONALYSTS. 1990. Vidéo publicitaire sur un dispositif sonore sous-marin provoquant une réaction d'ivresse par certaines espèces de poisson.

-
- STRUTHERS, G. 1993. «Facilities and Requirements for the Migration of Salmonids in Scottish Waters Harnessed for Hydro-Electric Generation» *Proceeding of a Symposium on Fish Passage Policy and Technology. Portland, Oregon, U.S.A. Bioeng. Sec. Am. Fish. Soc.* p. 75-80.
- SWEENEY, R.K. et R.J. RUTHERFORD. 1981. «Evaluation of a free-fall apparatus for downstream passage of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.)». *Can. Man. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 1632, 7 p.
- TAFT, E.P. 1990. *Fish Protection Systems for Hydro Plants*. Rapport préparé par Stone & Webster Engineering Corporation.
- TAFT, E.P. 1993. «An Update of Methods for Preventing Turbine» *Proceedings of the Workshop on fish passage at hydroelectric developments : March 26-28, 1991, St. John's, Newfoundland*. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. n° 1905. p. 70-86.
- TAFT, E.P., AMARAL, S.V., WINCHELL, F.C. et C.W. SULLIVAN. 1993. «Biological Evaluation of a New Modular Fish Diversion Screen», *Proceeding of a Symposium on Fish Passage Policy and Technology. Portland, Oregon, U.S.A. Bioeng. Sec. Am. Fish. Soc.* p. 177-188.
- TAYLOR, R.E. et B. KYNARD. 1985. «Mortality of Juvenile American Shad and Blueback Herring Passed through a Low-Head Kaplan Hydroelectric Turbine», *Transactions of the American Fisheries Society* 114 :430-435.
- TRAVADE, F. et M. LARINIER. 1992. «La migration de dévalaison: problèmes et dispositifs», *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 326-327: 165-176.
- TRAVADE, F., DARTIGUELONGUE, J. et M. LARINIER. 1987. *Dévalaison et franchissement des turbines et ouvrages énergétiques: l'expérience EDF*. Document préparé par la Direction des Études et recherches, Chatou. 8 p.
- TREMBLAY, G. 1994. *Essai de deux systèmes simples de déviation des saumonneaux. Centrale hydroélectrique Mitis 1*. Rapport présenté à la vice-présidence Environnement Hydro-Québec. 12 p. et 1 annexe.
- TREMBLAY, G. et A. BOUDREAU. 1994. *Capture des saumonneaux dans le canal d'amenée de la centrale Mitis 1*. Rapport présenté à Hydro-Québec, région Matapédia, par le Groupe Environnement Shooner inc. 13 p. et 4 annexes.
- TREMBLAY, G., THERRIEN, J., ASSELIN, S. et C. BEAULIEU. 1994. *Problématique de l'entraînement des saumonneaux et des saumons noirs dans la centrale Mitis 1 et étude des systèmes de déviation applicables*. Rapport du Groupe Environnement Shooner au service Milieu naturel de la Vice-présidence Environnement d'Hydro-Québec. 58 p. et 4 annexes.
- TURBAK, S.C., REICHLER, D.R. et C.R. SHRINER. 1981. *Analysis of environmental issues related to small-scale hydroelectric development. IV: Fish mortality resulting from turbine passage*. Report n° ORN/TM-7521. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 103 p.

-
- TURNER, A.R. Jr., FERGUSON, J.W., BARILA, T.Y. et M.F. LINDGREN. 1993. «Development and Refinement of Turbine Intake Screen Technology on the Columbia River», *Proceeding of a Symposium on Fish Passage Policy and Technology. Portland, Oregon, U.S.A. Bioeng. Sec. Am. Fish. Soc.* p. 123-128.
- VINSONHALER, R., BATES, D.W. et G.O. BLACK. 1958. *Fish diversion louver system.* United States Patent Office. 3 p.
- VOGEL, D.A. 1993. «Need for Updating Fish Protection Facilities for Anadromous and Resident Fish Stocks in the West Coast of North America» *Proceeding of a Symposium on Fish Passage Policy and Technology. Portland, Oregon, U.S.A. Bioeng. Sec. Am. Fish. Soc.* p. 69-74.
- WEBB, P.W. 1978. *Hydrodynamique et énergétique de la propulsion des poissons.* Bulletin de l'office des recherches sur les pêcheries du Canada n° 190. Ministère des Pêches et des Océans Canada, Ottawa. 160 p.
- WILLIAMS, J.G. et M.H. GESSEL. 1993. «Fish Diversion and Screening Devices : Is there a Relationship to Fish Behavior?» *Proceeding of a Symposium on Fish Passage Policy and Technology. Portland, Oregon, U.S.A. Bioeng. Sec. Am. Fish. Soc.* p. 135-140.
- WINCHELL, F., DOWNING, H., TAFT, N., CHURCHILL, A et P. MARTIN. 1992. *Fish Entrainment and Turbine Mortality Review and Guidelines.* Report prepared for Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, 265 p.
- WINCHELL, F., TAFT, N., COOK, T. et C. SULLIVAN. 1993. «EPRI's Evaluation of the Elwha Dam Eicher Screen and Subsequent Design Changes and Hydraulic Tests» *Proceeding of a Symposium on Fish Passage Policy and Technology. Portland, Oregon, U.S.A. Bioeng. Sec. Am. Fish. Soc.* p. 189-196.