

**Impact de l'exploitation et de l'entretien
des aménagements hydroélectriques
sur les poissons et leur habitat**

**Mesures d'atténuation prises par
l'industrie de l'électricité**

juillet 2001

TABLE DES MATIÈRES

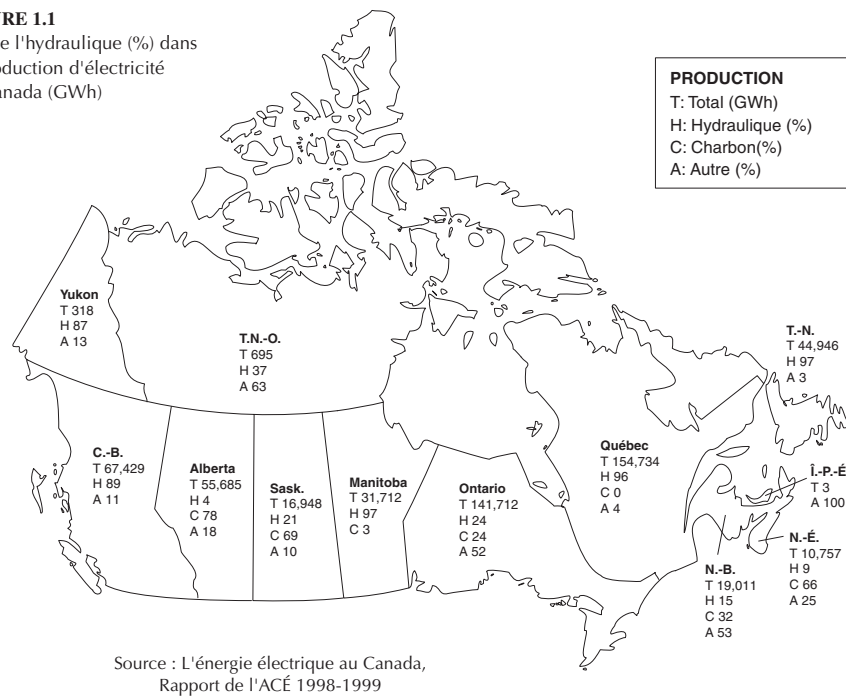
1.0 INTRODUCTION	1
1.1 Les principes directeurs et les priorités	4
1.2 Le cadre réglementaire	5
1.3 Les initiatives volontaires.....	8
2.0 L'EXPLOITATION ET L'ENTRETIEN DES AMÉNAGEMENTS HYDROÉLECTRIQUES.....	11
2.1 Les éléments d'un aménagement hydroélectrique	11
2.2 Gestion de l'exploitation	15
3.0 PRATIQUES DE L'INDUSTRIE.....	25
3.1 La gestion des réservoirs.....	26
3.2 La gestion du débit.....	32
3.2.1 La gestion à long terme.....	33
3.2.2 La gestion à court terme	38
3.2.3 L'opération des évacuateurs de crues	42
3.2.4 Le fonctionnement en compensateur synchrone	47
3.3 Les barrages et les déplacements des poissons	49
3.3.1 Espèces migratrices	49
3.3.2 Espèces résidentes.....	53
3.4 Les centrales à réserve pompée	56
3.5 L'entretien	57
3.5.1 L'entretien courant	57
3.5.2 Réparations et réfection	60
ANNEXE A: Réglementations provinciales.....	63
ANNEXE B: Glossaire	65
ANNEXE C: Ouvrages consultés	69
ANNEXE D: Méthodes de détermination du débit minimum	73

1.0 INTRODUCTION

Depuis près d'un siècle, l'hydroélectricité occupe une place prédominante dans la production d'énergie électrique au Canada et joue un rôle important dans l'économie du pays et le bien-être de sa population. En 1999, la part des centrales hydroélectriques dans la production totale d'électricité s'élevait à 61 pour 100 pour l'ensemble du pays et à beaucoup plus au Québec, au Manitoba, à Terre-Neuve et en Colombie-Britannique (voir figure 1.1). L'hydroélectricité est une source d'énergie sûre, fiable et renouvelable, pouvant répondre à une demande très diverse et très variable. C'est pourquoi elle est un élément clé des productions nationale et provinciales.

FIGURE 1.1

Part de l'hydraulique (%) dans la production d'électricité du Canada (GWh)



À l'aube du 21^e siècle, l'industrie hydroélectrique, comme toutes les autres industries énergétiques, fait face à des contraintes toujours croissantes d'origine environnementale, sociale, économique et technologique :

- Protection de l'environnement – L'hydroélectricité est une source d'énergie qui présente des avantages considérables en ce qui concerne la protection de l'environnement, notamment par la réduction des émissions de gaz à effets de serre et autres polluants atmosphériques. En revanche, on craint de plus en plus que les aménagements hydroélectriques aient des répercussions néfastes sur les habitats aquatiques et les poissons. Dans certaines régions du Canada, les autorités fédérales et provinciales, les Premières nations, les groupes écologistes et autres intervenants demandent une plus grande protection et une meilleure gestion des ressources halieutiques.
- Usages concurrentiels des eaux – L'exploitation des aménagements hydroélectriques a évolué au fil des ans pour concilier la production d'électricité avec divers autres besoins, dont l'irrigation, la protection contre

les crues, les activités récréatives, la protection des habitats aquatiques et des ressources halieutiques, l'alimentation en eau domestique et industrielle, la protection et la jouissance du patrimoine et des activités traditionnelles. Comme ces demandes concurrentes se multiplient avec l'augmentation de la population, l'urbanisation et d'autres facteurs socio-économiques, les producteurs d'hydroélectricité doivent se concerter avec tous les intéressés afin d'arriver à une plus grande harmonisation des divers usages des eaux.

- Progrès technologiques – Grâce aux progrès constants dans les domaines du contrôle et de la commande automatisés et des techniques environnementales, l'hydroélectricité a pu demeurer compétitive. Elle a néanmoins été remplacée, dans plusieurs régions, par des petites centrales thermiques incluant des technologies avancées comme les turbines à gaz, qui constituent une solution de remplacement efficace et rentable.
- Restructuration des marchés – Ces nouvelles technologies ainsi que l'évolution du marché aux États-Unis et ailleurs ont imposé à l'industrie canadienne de l'électricité une importante restructuration, qui s'est faite à une échelle et à un rythme différents selon les régions. L'obligation d'assurer les services qui est traditionnellement liée au concept de monopole se trouve progressivement remplacée par la pression de la concurrence. Fournisseurs d'électricité parmi d'autres, les sociétés hydroélectriques doivent tenir compte des prix compétitifs, de la rentabilité des opérations, des usages concurrentiels et des contraintes environnementales.

Dans l'ordre des priorités, la nécessité d'assurer la protection des habitats aquatiques et des poissons prend de plus en plus d'importance, en particulier dans les provinces de la côte est et de la côte ouest, où des espèces migratrices d'une grande valeur commerciale ont été réduites ou ont disparu. Des écosystèmes côtiers ont été détruits ou dégradés, d'autres sont gravement menacés. Il n'en va pas autrement dans les régions continentales, où la protection des habitats aquatiques et des espèces sédentaires est aussi à l'ordre du jour. Bien que plusieurs facteurs soient à l'origine de la demande d'une protection accrue des habitats aquatiques et des ressources halieutiques, notamment une pêche excessive et l'exploitation forestière, les activités hydroélectriques sont aussi une source de préoccupations pour les organismes réglementaires et les groupes d'intérêt.

Ce qui ne veut pas dire que les sociétés canadiennes d'hydroélectricité ne se souciaient pas auparavant de cette question. Dans les vingt dernières années, la protection de l'environnement a été intégrée à l'activité de production d'hydroélectricité, pour satisfaire, bien sûr, aux exigences des nouvelles réglementations, mais aussi sur une base volontaire, à l'initiative des producteurs eux-mêmes. Il y a intérêt à ce que les mesures prises par ces producteurs soient mieux connues du reste de l'industrie, des organismes réglementaires, des principaux intervenants et du grand public.

Devant l'intérêt suscité par la protection des ressources halieutiques, les compagnies canadiennes d'hydroélectricité ont compris qu'il était opportun d'amorcer le dialogue avec toutes les parties concernées sur les incidences environnementales de leurs activités et sur les mesures à prendre pour éliminer ou atténuer les effets négatifs. Aussi, en novembre 1998, les entreprises membres de l'Association canadienne de l'électricité (ACÉ) se sont engagées conjointement avec Pêches et Océans Canada dans un projet

visant à répertorier les mesures prises dans différentes exploitations hydroélectriques à travers le Canada pour gérer l'impact de leurs opérations sur les habitats aquatiques et les poissons. Le présent rapport est l'aboutissement de cette initiative d'envergure nationale.

Pour fins de discussion, ce document présente différentes activités hydroélectriques et leurs effets tant positifs que négatifs. En fait, le mode d'exploitation d'une centrale hydroélectrique varie d'une région à l'autre et d'un site à l'autre dans une même région, en fonction des conditions climatiques, de la topographie, de l'hydrologie, de la demande et d'autres facteurs. Leurs répercussions sur les habitats aquatiques et les poissons varient donc en fonction du mode d'exploitation, mais aussi des espèces et des populations présentes. On comprendra donc que les mesures d'atténuation décrites ci-après ne s'appliquent pas toutes à l'ensemble des producteurs. Il s'agit plutôt ici de décrire une gamme de mesures et, lorsque cela était possible, de donner des exemples particuliers (par ex., une région) de leur application, ou des exceptions.

Compte tenu de la diversité entre les régions, ce document n'a pas valeur de « code de pratique » à l'intention des producteurs d'hydroélectricité, contenant des prescriptions sur la protection des habitats aquatiques et des poissons. Il montre plutôt les effets potentiels des aménagements hydroélectrique sur les poissons ainsi que les mesures prises pour contrer les incidences négatives. Ce document vise à renseigner sur la nature des activités liées à l'exploitation hydroélectrique et sur les efforts soutenus de cette industrie pour harmoniser ses opérations avec les besoins des autres usagers et respecter les multiples exigences liées à l'utilisation de l'eau. C'est à ce titre qu'il trouvera son utilité auprès des producteurs d'hydroélectricité, des instances gouvernementales, des divers groupes d'intérêt et du grand public.

Ce document présente d'abord un survol des réglementations et politiques régissant les exploitations hydroélectriques et des initiatives volontaires de l'industrie en matière de protection de l'environnement. Le chapitre 2 décrit brièvement les différents éléments d'un aménagement hydroélectrique et la gestion de l'exploitation visant à harmoniser la production d'électricité avec les autres usages des eaux. Enfin, le chapitre 3 comprend une description détaillée des activités des centrales, de leurs effets potentiels sur les poissons et leurs habitats et des mesures d'atténuation ou de compensation mises en œuvre. On trouvera en annexe de l'information connexe, notamment un glossaire des termes utilisés dans le corps du document et une liste d'ouvrages de référence.

1.1 LES PRINCIPES DIRECTEURS ET LES PRIORITÉS

En cette fin du 20^e siècle, l'industrie canadienne de l'électricité s'efforce de maintenir le niveau d'excellence de ses services, malgré un contexte économique et social de plus en plus complexe. Le défi qui se pose au secteur de l'hydroélectricité en particulier est celui de continuer à exploiter des ressources hydrauliques qui sont abondantes et relativement peu coûteuses, en pratiquant une gestion durable qui laisse place aux autres usages de l'eau et assure la protection des ressources halieutiques.

Les sociétés canadiennes d'hydroélectricité, comme toutes autres entreprises commerciales ou industrielles, visent une saine gestion de leurs activités. Elles exploitent leurs installations de manière à satisfaire concurremment plusieurs exigences :

- Sécurité et fiabilité du service– Les centrales hydroélectriques doivent être exploitées de manière à assurer à l'ensemble de la clientèle un service d'alimentation électrique continu, sans coupure. La sécurité ne se limite pas à la fiabilité du service; elle englobe une foule d'autres considérations, dont la sécurité des barrages, la protection contre les crues, les communications en situation d'urgence et la sécurité de l'ensemble des installations de production, de transport et de distribution d'électricité.
- Rentabilité de l'exploitation – Les coûts d'exploitation doivent être rationalisés et l'électricité offerte à prix concurrentiels par rapport aux autres sources d'énergie (par ex., le gaz naturel). Au fur et à mesure que le marché de l'électricité s'ouvrira et que les prix seront en partie déterminés par la demande, il deviendra plus difficile d'assurer la rentabilité de la production.
- Protection de l'environnement – Les exploitants de centrales hydroélectriques doivent se préoccuper de réduire au minimum les effets négatifs de leurs activités sur l'environnement, notamment sur les habitats aquatiques et les poissons. Il s'agit avant tout de réduire au minimum les effets néfastes, et lorsque ceux-ci sont inévitables, de mettre en œuvre si possible des mesures appropriées pour atténuer ou compenser ces effets.
- Bien-être de la population – L'industrie de l'électricité a joué un rôle important dans le développement économique et l'industrialisation du Canada. Bien que ce rôle soit susceptible d'évoluer sous la pression de la concurrence, les sociétés d'électricité ne doivent pas perdre de vue les besoins et les attentes des collectivités locales, des Premières nations, des autres industries, des groupes d'intérêt et du grand public.

L'harmonisation entre toutes ces exigences est déterminée en partie par les diverses réglementations et politiques auxquelles les exploitants sont soumis. Mais l'industrie va au-delà des strictes exigences réglementaires, en prenant volontairement des initiatives visant la protection de l'environnement et un mieux-être de la population. Les pratiques décrites dans ce document sont, pour certaines, des réponses aux exigences de ces réglementations et politiques et, pour d'autres, des efforts consentis volontairement.

1.2 LE CADRE RÉGLEMENTAIRE

La plupart des exploitants de centrales hydroélectriques au Canada détiennent une concession, un permis et des droits d'usage de l'eau octroyés par la province. En vertu de la *Constitution canadienne*, les gouvernements fédéral et provinciaux ont chacun leurs domaines exclusifs de compétence. La propriété des ressources naturelles est dévolue aux provinces, de même que le droit de propriété des terres publiques comprises dans leur territoire et le droit civil. Bien que les eaux navigables (à l'exception des eaux situées sur les terres de la Couronne) et les poissons qui y vivent sont du ressort des provinces, le gouvernement fédéral est habilité à adopter des lois régissant la navigation et les pêches.

Toute une panoplie de politiques et d'instruments juridiques adoptés par ces instances régissent la production d'hydroélectricité. Les compagnies canadiennes d'hydroélectricité sont soumises à des engagements contractuels et des obligations définis par des conseils, des organismes et des traités, de même qu'aux principes de la *common law*.

Les principales lois et politiques fédérales et provinciales ayant une incidence sur la production d'hydroélectricité sont mentionnées ci-dessous. Cette liste n'est pas exhaustive, et on pourra s'adresser directement à l'organisme responsable pour plus d'information ou pour toute question d'interprétation quant à l'application de ces lois.

La réglementation fédérale

La *Loi sur les pêches*, administrée par Pêches et Océans Canada, est le principal instrument fédéral de réglementation des pêches au Canada. Elle régit les eaux des zones de pêche et des mers territoriales et les eaux intérieures du Canada, et a pour but d'assurer la protection et la gestion du poisson, de ses habitats et des pêches. Elle donne un cadre réglementaire à la conservation, la restauration et la mise en valeur des habitats du poisson et aux stratégies de mise en œuvre des programmes et mesures associés. Le domaine d'application de la *Loi sur les pêches* est vaste, et elle peut s'appliquer de différentes façons aux aménagements et activités de production d'hydroélectricité. Ainsi, elle comprend des dispositions précises concernant les dommages, la perturbation ou la destruction de l'habitat du poisson, la mise en place de grilles à poissons, la construction et l'exploitation de passes à poissons et le maintien d'un débit suffisant en aval des ouvrages. Vu la complexité de la *Loi*, d'une part, et la grande diversité des aménagements et activités hydroélectriques qui peuvent être visés, d'autre part, les compagnies d'hydroélectricité travaillent en étroite collaboration avec le MPO afin de bien comprendre les exigences auxquelles elles sont assujetties.

Pour faciliter l'application de la *Loi sur les pêches*, le ministère des Pêches et des Océans a adopté en 1986 une *Politique de gestion de l'habitat du poisson*, énonçant les objectifs et les stratégies du ministère pour la gestion des habitats dont dépendent les pêches canadiennes en eaux douces et marines. L'objectif à long terme de cette politique est la réalisation d'un gain net de capacité de production des habitats. Le principe directeur d'« aucune perte nette » s'applique à tous les nouveaux projets et travaux proposés et n'aura pas d'effet rétroactif sur les projets déjà approuvés ou terminés. Par ce principe, le ministère cherche à compenser les pertes inévitables d'habitats causées par la réalisation d'un projet donné par la création de nouveaux habitats. Cette politique sert de cadre à la concertation entre le secteur privé (notamment les producteurs d'hydroélectricité) et les instances gouvernementales.

La *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* (LCEE) peut avoir une incidence sur la protection des poissons et de leurs habitats, du fait qu'elle exige une évaluation d'impact sur l'environnement pour certaines catégories de projets et d'activités. Un des principaux objectifs visés par la LCEE est le développement durable. Une évaluation environnementale peut aussi, dans certaines circonstances, être exigée en vertu de la *Loi sur les pêches*. Les opérations d'entretien d'installations existantes ne sont pas assujetties aux exigences de la LCEE.

En février 2000, le gouvernement fédéral a déposé à la Chambre des communes un projet de loi sur les espèces menacées de disparition. Ce projet faisait suite à un engagement pris en 1996 par les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux, concernant l'adoption de lois, de règlements et de programmes complémentaires pour assurer la protection des espèces en péril au Canada. Cette nouvelle législation pourrait toucher l'industrie de l'hydroélectricité, dont les activités sont susceptibles d'avoir un effet sur des espèces menacées et leurs habitats.

L'industrie de l'hydroélectricité peut aussi être visée par la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*. Cette loi régit la gestion des substances toxiques, depuis leur fabrication jusqu'à leur élimination, en passant par leur stockage et leur utilisation. L'entretien et, dans une moindre mesure, l'exploitation des installations hydroélectriques peuvent être assujettis aux exigences de cette loi.

D'autres lois et traités fédéraux peuvent s'appliquer dans certains cas, notamment :

- *la Loi sur la protection des eaux navigables*
- *la Loi sur le transport des marchandises dangereuses*
- *la Loi sur la convention concernant les oiseaux migrateurs*
- *la Loi sur les Indiens*
- *la Loi sur les explosifs*
- *la Loi sur les ressources en eau du Canada*
- *la Loi sur les espèces sauvages du Canada*
- *la Loi sur les ouvrages destinés à l'amélioration des cours d'eau internationaux*
- *le Traité des eaux limitrophes internationales (1909).*

La réglementation provinciale

Les provinces ont compétence en matière d'utilisation des eaux situées sur leur territoire, y compris pour la production d'hydroélectricité. Dans la plupart des cas, ce sont les autorités provinciales qui octroient les permis ou les autorisations d'aménagement hydroélectrique. Ces permis ou autorisations sont généralement assortis de conditions, éventuellement d'exigences environnementales telles que le maintien d'un certain débit dans les cours d'eau. Règle générale, l'ampleur des exigences environnementales dépend de l'époque à laquelle le permis a été octroyé et du degré de sensibilité aux problèmes environnementaux qui caractérisait cette époque. Souvent, à l'expiration du permis d'exploitation, l'installation fait l'objet d'une nouvelle évaluation d'impact environnemental et le renouvellement du permis est assujéti à des conditions environnementales plus rigoureuses. Dans le cas des installations construites après l'adoption des lois fédérale et provinciales sur l'évaluation environnementale, l'octroi du permis d'exploitation hydraulique sera assujéti à certaines exigences environnementales.

Une multitude de lois provinciales sur la protection et la gestion de l'environnement ont une incidence sur les exploitations hydroélectriques. On trouvera en annexe A une liste des principales lois par province et territoire. Cette liste permettra de constater l'étendue des exigences environnementales auxquelles doivent se soumettre les compagnies d'hydroélectricité.

1.3 LES INITIATIVES VOLONTAIRES

Les producteurs canadiens d'électricité ont adopté, individuellement et collectivement, des programmes et des mesures volontaires pour réduire l'effet de leurs activités sur l'environnement. En voici deux exemples qu'on retrouve à l'échelle de l'industrie.

Le Programme d'engagement et de responsabilité en environnement (ERE)

En novembre 1997, l'ACÉ lançait le Programme d'engagement et de responsabilité en environnement (ERE) pour faciliter la coordination des efforts des entreprises membres en matière de gestion axée sur le respect de l'environnement. Les entreprises d'électricité qui adhèrent à ce programme s'engagent à respecter quatre grands principes :

- rationaliser l'utilisation des ressources
- réduire les effets néfastes sur l'environnement de leurs activités
- répondre de leurs activités à leurs interlocuteurs
- faire en sorte que leurs employés soient conscients des incidences de leurs actions sur l'environnement et qu'ils possèdent les connaissances et les compétences nécessaires pour prendre des décisions judicieuses.

Chaque entreprise doit évaluer sa propre performance par rapport à ces objectifs, d'après un certain nombre d'indicateurs préétablis. De plus, chacune doit mettre en œuvre un système de gestion environnementale (SGE) conforme aux exigences des normes ISO 14001. Cette série de normes regroupe les exigences les plus récentes de quelque 70 pays en matière de SGE.

Les pratiques décrites au chapitre 3 reflètent l'adhésion aux principes du programme ERE des entreprises canadiennes d'électricité. Elles peuvent aider l'ensemble des producteurs d'hydroélectricité à se conformer aux exigences environnementales en identifiant les effets de leurs opérations sur l'environnement et les moyens qui permettent d'optimiser la gestion de l'eau. Le chapitre 3 décrit des mesures précises visant à minimiser les effets négatifs de la production d'hydroélectricité sur l'environnement et contient de l'information utile pour aider les producteurs d'hydroélectricité à évaluer leur performance environnementale et leur conformité aux exigences des normes ISO 14001 en matière de systèmes de gestion environnementale.

Les systèmes de gestion environnementale (SGE)

Le programme ERE exige des entreprises membres qu'elles adoptent un SGE conforme aux prescriptions de la norme ISO 14001-96 : *Systèmes de management environnemental – Spécifications et lignes directrices pour son utilisation*,¹ première d'une série de normes visant la mise en œuvre et l'adaptation de systèmes de gestion environnementale.

La norme ISO 14001 définit 18 conditions qui doivent être réunies pour garantir l'efficacité d'un SGE. En voici l'essentiel :

¹ Association canadienne de normalisation (1996).

- établissement d'une politique environnementale adaptée à l'organisme
- identification des répercussions environnementales découlant de ses activités, ses produits et ses services
- définition d'objectifs par rapport aux principaux effets environnementaux, notamment la lutte contre la pollution
- établissement de programmes pour atteindre ces objectifs, affectation des ressources nécessaires et formation adéquate du personnel requis
- amélioration continue du SGE.

L'information présentée au chapitre 3 renseignera les entreprises d'hydroélectricité sur les répercussions éventuelles de leurs activités sur les habitats aquatiques et les poissons. Elle peut également être utile pour la définition d'objectifs et de programmes environnementaux visant à satisfaire aux exigences de la norme ISO 14001.

2.0 L'EXPLOITATION ET L'ENTRETIEN DES AMÉNAGEMENTS HYDROÉLECTRIQUES

Ce chapitre présente un aperçu général de l'exploitation des aménagements hydroélectriques. On y trouvera une description générale des divers éléments qu'ils comportent et de leur fonctionnement ainsi que du processus général de gestion de l'exploitation.

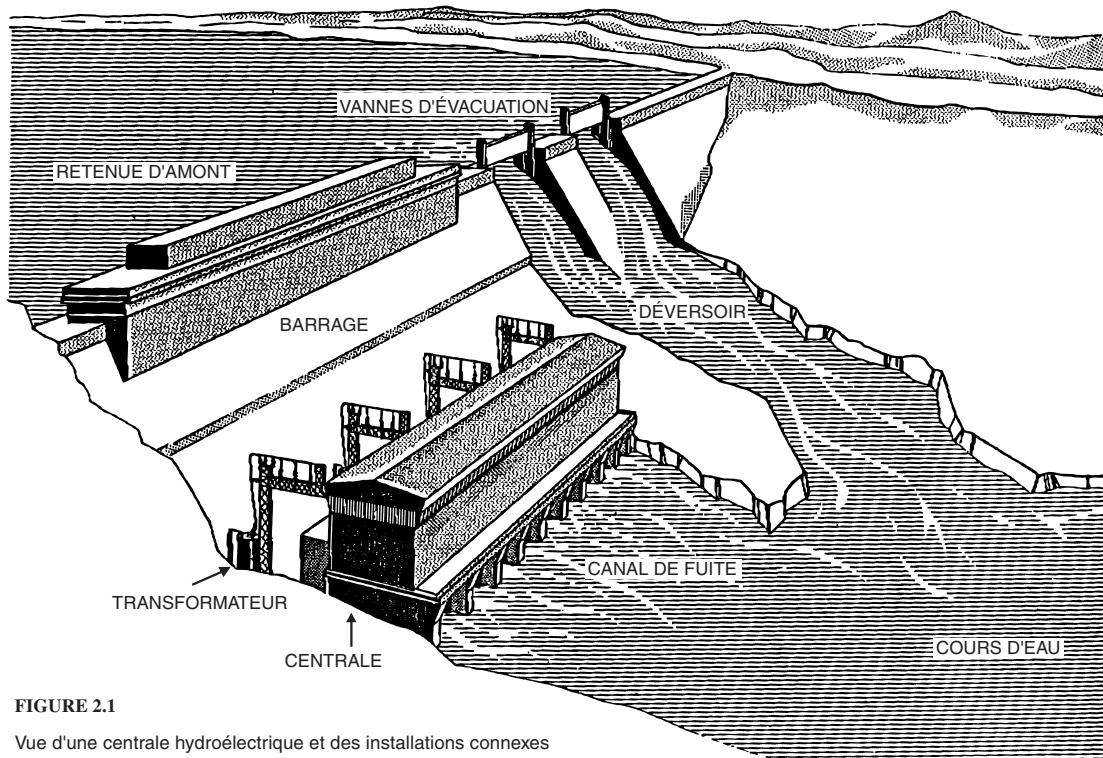


FIGURE 2.1

Vue d'une centrale hydroélectrique et des installations connexes

2.1 LES ÉLÉMENTS D'UN AMÉNAGEMENT HYDROÉLECTRIQUE

La production d'hydroélectricité repose sur un vaste et complexe réseau d'installations conçues pour tirer profit de l'énergie cinétique de masses d'eau (voir figure 2.1). Cette source d'énergie est retenue derrière des barrages, puis amenée par des *conduites forcées* jusqu'aux turbines. L'eau qui passe par les turbines les fait tourner, entraînant les alternateurs, qui transforment l'énergie mécanique en énergie électrique. Celle-ci est transportée par un réseau de lignes haute tension puis, après abaissement de la tension, elle est acheminée par un réseau de lignes de distribution aux différents points de consommation.

Les principaux éléments d'un aménagement hydroélectrique et leur fonctionnement sont décrits ci-dessous.²

² La définition des termes et expressions en italique figure à l'annexe B.

Le barrage

La base d'un aménagement hydroélectrique est le *barrage*, ouvrage en remblai, en béton ou mixte, servant à créer un réservoir. Le barrage contrôle le débit et élève le niveau de l'eau à l'amont de manière à créer une hauteur de chute (différence entre le niveau d'eau d'amont et le niveau d'eau du bief d'aval) pour la production de force motrice. Il comporte divers équipements qui restituent l'eau à la rivière : turbines pour la production d'électricité, *évacuateur de crues* et autres vannes et orifices à des fins autres que la production d'électricité.

Les barrages ont plusieurs fonctions : *stockage* des eaux, dérivation de leur cours, utilisation de leur force motrice pour la production d'électricité. On fait souvent une distinction entre barrages-réservoirs et barrages *au fil de l'eau*, mais cette distinction n'est pas absolue. Les barrages-réservoirs sont conçus pour retenir d'importants volumes d'eau pour la production ultérieure d'électricité, et le niveau d'eau dans le réservoir fluctue. La plupart des barrages sont construits en travers du *chenal* principal d'un cours d'eau, mais on en construit aussi sur le pourtour des réservoirs (digues) pour empêcher les eaux de s'écouler dans des vallées secondaires.

Les barrages au fil de l'eau ne créent pratiquement pas de réserve, l'eau s'écoulant sans interruption. La quantité d'énergie produite dépend dans ce cas de la hauteur de chute, du débit du cours d'eau, du relief du terrain et de la puissance installée.

La centrale hydroélectrique

La centrale renferme les turbines hydrauliques, les alternateurs et autres équipements annexes utilisés pour transformer l'énergie cinétique de l'eau en énergie électrique. Elle peut être externe et reliée au réservoir par une *prise d'eau* et une conduite forcée, ou elle peut faire partie intégrante du barrage.

La différence entre le niveau de l'eau du *bief d'amont* (immédiatement en amont de la centrale) et celui du *bief d'aval* (immédiatement en aval de la centrale) détermine la hauteur de chute. En principe, les centrales sont conçues pour une plage de hauteurs de chute et de débits. Les centrales au fil de l'eau sont normalement beaucoup plus petites, puisqu'elles sont dimensionnées en fonction du débit de base du cours d'eau. Les centrales qui profitent d'une réserve, en revanche, sont généralement beaucoup plus importantes, puisqu'elles doivent turbiner un plus grand volume d'eau en un temps plus court afin de répondre à la demande énergétique.

Le type de turbines équipant la centrale dépend lui aussi de la taille de l'installation (c.-à-d. de la hauteur de chute) et du mode d'exploitation. Les centrales canadiennes sont équipées principalement de turbines Francis et Kaplan.

Certaines centrales conventionnelles, par exemple les centrales au fil de l'eau, fonctionnent en continu pour produire l'énergie de base (*centrales de base*). D'autres (*centrales de pointe*) entrent en service seulement lorsque la demande augmente (*demande de pointe*). Il existe des centrales de pointe dites à accumulation par pompage, où l'eau est remontée à l'amont durant les heures creuses pour être réutilisée durant les heures de pointe. Ce type de centrale est très rare au Canada.

Le barrage et la centrale sont essentiellement de gros ouvrages fixes, conçus pour résister à la force statique et dynamique de l'eau. Il s'ensuit que toute modification après la mise en eau de ces ouvrages est forcément difficile. Mais lorsque de tels travaux s'imposent, ils peuvent offrir l'occasion d'implanter des mesures de protection environnementale.

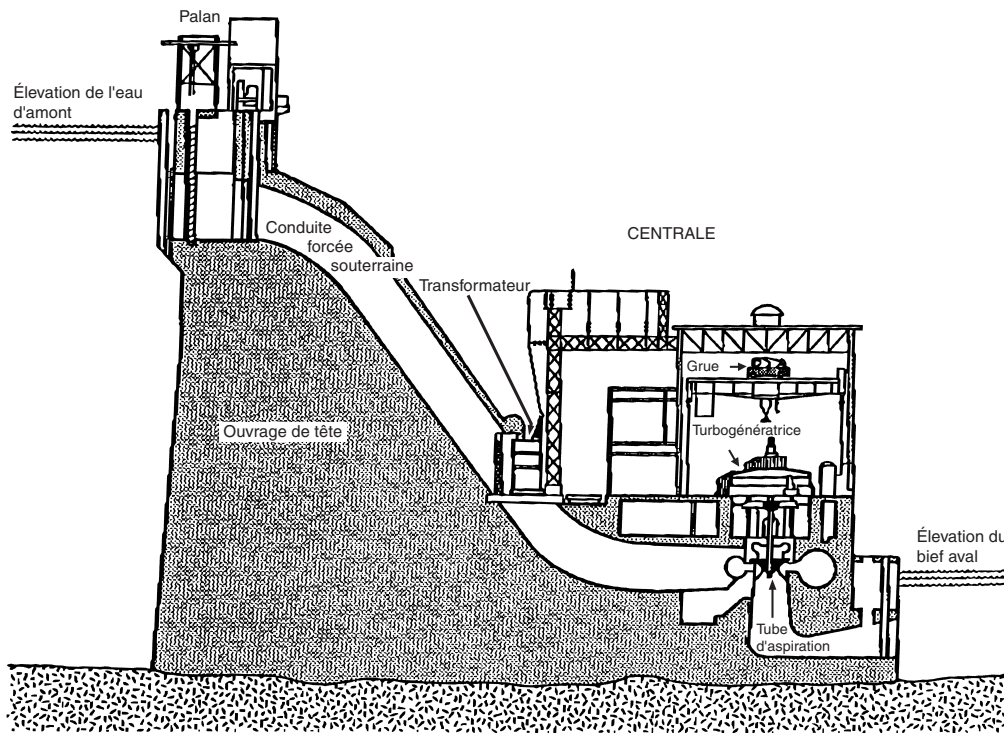


FIGURE 2.2

Coupe transversale d'une installation hydroélectrique type

Le réservoir

Le premier élément amont d'un aménagement hydroélectrique est le *réservoir*, c'est-à-dire la masse d'eau retenue à l'amont du barrage. Le *réservoir* est semblable à une pile rechargeable. Il emmagasine la source d'énergie motrice, l'eau, laquelle est renouvelée par les eaux provenant des pluies et de la fonte des neiges. Le niveau de l'eau dans le réservoir fluctue en fonction des apports, de l'évaporation et de l'exploitation des ouvrages.

Les conditions climatiques, la topographie et l'influence des saisons jouent toutes un rôle dans le remplissage des réservoirs. En règle générale, dans la région de l'ouest, les réservoirs se remplissent au cours du printemps et de l'été, alors que dans l'est, ils se remplissent au cours du printemps et de l'automne. La plupart atteignent leur niveau le plus bas durant l'hiver, moment de l'année où la demande en électricité est la plus élevée. La vitesse de remplissage et de vidange et la fluctuation du niveau de l'eau varient d'une région à l'autre.

La *réserve* est le volume total d'eau emmagasinée à l'amont d'une centrale ou d'un barrage à un moment donné. La *réserve utile* d'un réservoir est le volume d'eau qu'il peut contenir entre les niveaux minimum et maximum d'exploitation, et la *réserve disponible* est le volume d'eau disponible pour la production d'électricité et autres usages. La réserve

disponible est presque toujours inférieure à la réserve utile, pour des raisons d'ordre matériel ou réglementaire. Le volume d'eau contenu dans le réservoir et le niveau de l'eau dans le bief d'amont sont déterminés par la topographie du site.

Outre la production d'électricité, les réservoirs présentent des opportunités pour les activités récréatives, le transport commercial, la pêche commerciale ou le développement riverain. Au Nouveau-Brunswick, par exemple, des ententes ont été convenues concernant les niveaux d'eau dans certains réservoirs, en vue de protéger leur potentiel de pêche sportive.

La dérivation

La *dérivation* est le détournement d'une partie ou de la totalité des eaux d'une rivière ou d'un *bassin versant* au profit d'une autre rivière ou d'un autre bassin dont on veut augmenter le débit, la *hauteur de chute* et/ou la capacité de production d'électricité. Les ouvrages de dérivation sont conçus et exploités pour augmenter le débit dans le canal d'amenée d'eau ou le bassin récepteur, tout en assurant un débit minimal en aval du point de dérivation. Lors d'une *crue*, les eaux excédentaires peuvent être restituées à leur cours en aval du point de dérivation.

Le débit d'aval

Un paramètre important des exploitations hydroélectriques, outre la hauteur de chute, est le *débit* en aval du barrage. Le débit d'aval dépend du volume d'eau restitué par les turbines et autres dispositifs de restitution. La plupart des barrages modifient le *régime* naturel des cours d'eau. Bien qu'un *cours d'eau aménagé* (après construction du barrage) reçoive le même volume d'apports, l'exploitation du barrage détermine à quel moment, à quel endroit et à quelle vitesse l'eau est restituée à son cours après utilisation.

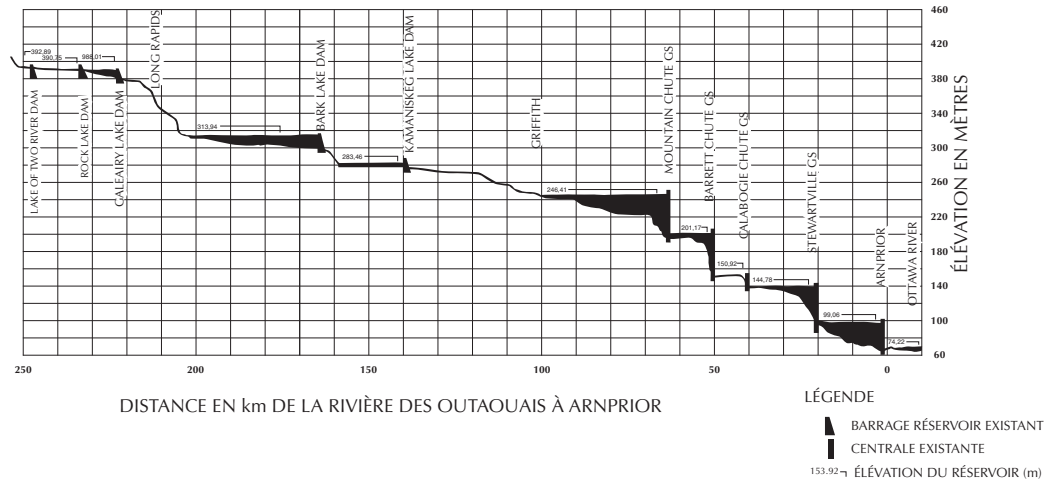
Dans certains aménagements, la totalité de l'eau retenue est restituée à son cours, mais à des moments et des débits qui s'écartent du régime naturel. Dans les installations au fil de l'eau, le débit demeure pratiquement inchangé. Par contre, les ouvrages de dérivation, en détournant les eaux d'un cours au profit d'un autre dont on veut augmenter la force motrice pour la production d'électricité, sont susceptibles de modifier le débit d'aval.

Lors de pluies abondantes prolongées ou d'une fonte rapide des neiges, le niveau de l'eau monte dans le réservoir car les apports sont plus importants que les volumes restitués en aval. Au cours de ces périodes, les surplus d'eau peuvent alors être déversés en aval du barrage par un évacuateur de crues.

Les aménagements en cascade

Dans un *aménagement en cascade*, des centrales sont implantées à la suite les unes des autres sur un même *cours d'eau*, de manière à ce que l'eau restituée par une centrale amont s'écoule directement dans le réservoir de la centrale aval (voir figure 2.2). En règle générale, on choisit ce type d'aménagement pour tirer profit du profil naturel du lit d'un cours d'eau. Les réserves utiles et les débits déterminent la fluctuation des niveaux d'eau.

FIGURE 2.3 Centrales et barrages réservoirs sur la rivière Madawaska



2.2 GESTION DE L'EXPLOITATION

La gestion de l'exploitation d'un aménagement hydroélectrique implique l'harmonisation entre la production et la demande d'électricité et les usages multiples de l'eau. Il s'agit du processus décisionnel au cours duquel les exploitants visent un service d'électricité sûr, fiable et rentable en tenant compte dans la mesure du possible des exigences des autres usages de l'eau.

Les exploitants planifient leurs opérations en prévision d'une demande variable d'électricité et de variations des apports d'eau dans le temps – soit deux variables sur lesquelles ils n'ont aucun contrôle. L'exploitation des centrales hydroélectriques doit être coordonnée avec celle des autres formes de production d'électricité afin d'assurer un service ininterrompu, tout en tenant compte des effets entre les bassins hydrographiques .

La gestion de l'exploitation tient compte de la prévision de la demande, de la capacité de production et de la capacité de transport et de distribution, et ce, en se pliant aux exigences réglementaires et à des contraintes volontaires. Elle oblige à consulter diverses sources de données, notamment les prévisions météorologiques (apports d'eau), les tendances du marché, les bases de données historiques sur la performance des installations et le régime du bassin hydrographique ainsi que les bases de données en temps réel décrivant le fonctionnement des systèmes, afin d'établir le programme optimal d'exploitation.

Bien qu'il y ait des différences entre les compagnies d'hydroélectricité, la planification commence généralement par une prévision à long terme (24 mois ou plus) de la demande, à partir de laquelle on établit un programme de production en tenant compte des autres sources de production d'électricité. À ce stade, on élabore des stratégies en vue des pénuries et des surplus d'énergie, des achats d'énergie et de puissance et autres facteurs pour arriver à des prévisions mensuelles. On procède ensuite à la prévision pour plusieurs semaines de la capacité de production, des temps d'arrêt pour fins d'entretien et des éventuels problèmes de production afin de déterminer la capacité de production hebdomadaire. Enfin, on détermine la capacité de production journalière pour l'ensemble du réseau.

Les contraintes réglementaires et environnementales ou provenant des citoyens déterminent les limites de niveau et de débit à respecter. Ces questions sont considérées en détail dans les sections 3.1 et 3.2, respectivement. Le reste du présent chapitre traite

des considérations relatives à la production d'électricité ou autres, qui entrent en ligne de compte dans la préparation du programme d'exploitation, ainsi que des nouvelles approches à la gestion des eaux qui tiennent compte de ces considérations.

La production hydroélectrique

L'exploitation des centrales hydroélectriques vise à assurer l'adéquation entre la demande et la production d'électricité sur une base instantanée, horaire, journalière, saisonnière, annuelle et, dans certains cas, pluriannuelle. La demande varie dans le temps en fonction des besoins des consommateurs, tandis que la capacité de production des centrales varie selon les conditions climatiques saisonnières et les apports en eau. Au Canada, la demande d'électricité est généralement plus élevée en hiver (bien que la demande d'été augmente de plus en plus), alors que les apports sont à leur plus faible. La demande est aussi plus élevée les jours de semaine et plus faible durant la nuit.

Les exploitants planifient leurs opérations en fonction de la demande moyenne pour une période de temps déterminée (la demande de base) et de la demande de pointe. En plus de prévoir les besoins des clients, ils doivent prévoir une capacité de réserve suffisante pour compenser une sous-estimation de la demande, les pannes, la dynamique normale du réseau ou des conditions climatiques extrêmes. Certains établissent leur programme d'exploitation de manière à assurer une réserve suffisante d'énergie (volume d'eau dans le réservoir) pour faire face à un apport extrêmement faible sur une période déterminée.

Lorsque les apports annuels sont plus importants que la normale, les exploitants laissent les réservoirs se remplir et offrent à la vente le volume d'eau en excédent de la capacité de stockage plutôt que de le déverser à perte. Lorsqu'au contraire, les apports d'eau sont inférieurs à la normale, ils utilisent la réserve utile des réservoirs, ont recours à d'autres sources d'énergie pour suppléer la production hydraulique d'électricité et achètent de la puissance à d'autres fournisseurs. En somme, ils gèrent les réservoirs de manière à assurer la demande courante et future d'électricité, à éviter les déversements improductifs et à répondre aux autres impératifs (par ex., la protection contre les crues).

La sécurité du réseau

Les exploitants de centrales hydroélectriques sont tenus d'assurer un service d'électricité sûr et fiable aux consommateurs. Les instances provinciales peuvent les exempter des obligations environnementales pour leur permettre de gérer en priorité des pénuries ou des surplus temporaires d'énergie. Cela peut se produire pour les raisons suivantes :

- adaptation de la production à la consommation
- maintien de la stabilité de la fréquence ou de la tension
- mise en réserve suffisante pour éviter les arrêts de production
- prévention des coupures de service dans une partie du réseau.

Dans certaines régions, les compagnies d'électricité ont le pouvoir de décision dans les situations d'urgence. Dans d'autres régions, notamment en Ontario et en Alberta, un fournisseur indépendant gère ces urgences pour le compte de la province. Par ailleurs, l'interconnexion des réseaux permet dans certains cas d'assurer une gestion régionale de la situation.

L'entretien des installations

Pour les centrales hydroélectriques comme pour toute installation industrielle, il est nécessaire d'établir un programme d'entretien continu pour assurer un fonctionnement sûr, fiable et efficace des installations. Une partie importante des travaux d'entretien est prévisible et dictée par des lignes directrices bien établies, des codes ou des prescriptions réglementaires. En règle générale, ces travaux sont effectués périodiquement (mensuellement, annuellement) et sont intégrés au programme d'exploitation de l'installation. C'est notamment le cas de l'entretien mécanique des équipements, de l'entretien des ouvrages exposés (par ex., parements de béton, surfaces peintes) et de l'entretien des lieux entourant le barrage et le réservoir ou le bief amont.

Une deuxième catégorie de travaux d'entretien comprend les réparations et mises en état importantes. Ces travaux ne sont pas prévus dans le programme d'entretien continu. Ils sont décidés ponctuellement selon les problèmes qui se présentent. Ainsi, il peut s'avérer nécessaire de remplacer un évacuateur de crues qui n'est plus sécuritaire ou un *aspirateur* dégradé par l'érosion. Ces travaux nécessitent souvent une autorisation ou un permis spécial et leur planification et leur coordination avec les organismes de réglementation et les divers intervenants peuvent prendre un temps considérable.

Les travaux d'entretien courant en dehors des centrales concernent souvent le public ou les autres intervenants majeurs, soit parce qu'ils sont entrepris pour régler des problèmes causés aux propriétaires *riverains*, soit parce qu'ils ont une incidence sur les autres usages de l'eau (par ex., la navigation de plaisance ou commerciale). La section 3.5 traite plus amplement des répercussions des deux catégories de travaux d'entretien sur les habitats aquatiques, les poissons et les autres usages de l'eau.

La gestion des crues

Dans les régions où la sécurité publique, les propriétés ou l'intégrité des ouvrages hydroélectriques sont menacés par des inondations, la gestion des crues aura vraisemblablement préséance sur la production d'électricité et les autres usages de l'eau à certains moments de l'année. Les producteurs d'hydroélectricité peuvent collaborer à la

Exemples de compromis entre divers usages de l'eau

- La gestion des crues dicte un remplissage tardif des réservoirs (pour réduire les risques d'une inondation à la fin du printemps), tandis que le remplissage hâtif favorise la fraie et réduit le risque que les poissons soient retenus dans des étangs isolés
- La gestion des crues réduit l'amplitude d'inondation des terres humides et des deltas et, par conséquent, modifie la végétation et la faune de ces écosystèmes.
- La gestion de la vitesse du courant pour faciliter la navigation peut perturber le trajet migratoire des poissons.

gestion des crues avec les autorités régionales, provinciales, interprovinciales ou internationales, selon le cas (par ex., Commission de régularisation du lac Supérieur, Commission de contrôle du lac Woods, traité du fleuve Columbia). Le plus souvent, les manœuvres en cas de crues sont dictées à l'exploitant par l'organisme ou les organismes responsables.

La baisse de niveau du réservoir permet d'accroître la capacité d'emménagement des eaux des crues. Dans certains réservoirs, il est possible d'excéder le niveau maximal

d'exploitation pour emmagasiner ces eaux durant certaines périodes de l'année. Au Canada en particulier, les réservoirs sont précieux pour la gestion des *crues printanières*, car la demande en électricité est plus élevée en hiver et les réservoirs atteignent leur niveau le plus bas juste avant la fonte des neiges. Si le réservoir est au niveau le plus bas au moment de la pointe des crues printanières, le déversement et, par conséquent, le débit à l'aval peuvent être atténués. Si les crues printanières ne sont pas trop importantes, la gestion du réservoir peut suffire pour limiter, voire éviter une inondation. Cependant, les années de crues printanières très importantes, elle n'aura vraisemblablement aucun effet sensible sur ce phénomène naturel.

Les exploitants évitent dans la mesure du possible de déverser l'eau d'un réservoir, car elle représente une source de revenu potentiel. Cependant, à l'annonce ou en présence de crues, ils peuvent être obligés de le faire pour éviter les dommages au barrage ou aux propriétés en bordure du réservoir et pour se conformer aux conditions de leur permis. Au Canada, l'évacuation des crues se produit essentiellement au printemps, mais parfois aussi en d'autres temps de l'année. La section 3.2.3 traite en particulier de l'évacuation des crues et des effets et mesures d'atténuation associés.

L'approvisionnement en eau et la dilution des effluents

L'alimentation en eau des habitations, des exploitations agricoles et des industries est une des principales préoccupations des producteurs hydroélectriques. Les prises d'eau sont généralement construites dans la partie la plus profonde des réservoirs ou des cours d'eau. Dans certains cas cependant, elles risquent de se trouver à découvert en période de sécheresse. Les producteurs doivent assurer un débit minimum à certains moments de l'année pour éviter que cette situation ne se produise.

Les organismes de réglementation peuvent imposer aux producteurs un débit minimum dans certains cours d'eau afin de diluer les effluents d'installations de traitement d'eaux usées domestiques ou industrielles en aval. La plupart du temps, il s'agit d'éviter l'*anoxie* (déficit en oxygène dissous dans l'eau) ou de protéger les poissons contre les substances chimiques toxiques. Même lorsque cela n'est pas expressément demandé, les rivières avec des réservoirs dans le *cours supérieur* ont généralement un débit plus élevé en périodes naturelles de basses eaux, soit durant l'hiver et à la fin de l'été, assurant un meilleur taux de dilution.

La gestion des glaces

En régions froides, la formation naturelle de glace à la surface des cours d'eau et des lacs peut causer des inondations (par ex., lors d'embâcles et de débâcles), obturer les prises d'eau domestiques ou industrielles et nuire à la production d'hydroélectricité en bloquant ou obstruant les prises d'eau des centrales, en diminuant le courant ou en faisant monter le niveau de l'eau en aval. La présence de glace peut aussi avoir des répercussions sur l'habitat du poisson, du fait qu'elle modifie la vitesse d'écoulement des eaux et qu'elle provoque des inondations, l'érosion du lit et des berges et le transport de sédiments. L'ampleur et la durée de l'action des glaces dépendent de plusieurs facteurs, dont la température de l'eau et de l'air ambiant, les caractéristiques du cours d'eau, le volume et la vitesse d'écoulement et les conditions glacielles préexistantes.

Bien que l'action des glaces se produise en présence comme en l'absence d'un aménagement hydroélectrique, celui-ci peut avoir une incidence sur la formation des glaces, en particulier au voisinage des ouvrages de régulation. Dépendant du niveau de l'eau d'amont, les conditions glacielles en amont peuvent être plus, ou moins, stables dans un cours d'eau aménagé que dans un cours d'eau non aménagé. À certains moments critiques de l'année, la variation du débit par suite des manœuvres d'exploitation peut également influencer sur la stabilité des glaces à l'aval.

Les exploitants d'installations hydroélectriques pratiquent une gestion des glaces dans un double but : favoriser l'écoulement des eaux en limitant l'obstruction par les glaces; réduire les inondations et les dommages causés par les glaces lors d'embâcles et de débâcles. Au moment du gel, ils peuvent régler les débits ou les niveaux d'eau ou utiliser des ouvrages spéciaux (estacades, *déversoirs*, etc.) pour favoriser la formation d'une couche de glace stable aux endroits critiques. Pour réduire la formation de glace sous la couche superficielle, ils peuvent augmenter le débit en pratiquant des déversements périodiques et provoquer une légère augmentation de la température de l'eau d'aval en évacuant des eaux prélevées dans les couches plus profondes du réservoir. Au moment de la débâcle, ils peuvent régler les débits et utiliser les ouvrages de défense contre les glaces pour limiter les inondations et les dégâts qu'elles provoquent.

La navigation

Au Canada, des centrales hydroélectriques ont été aménagées sur plusieurs cours d'eau dont la vocation principale est le transport de marchandises et de matières premières (par ex., la Voie maritime du Saint-Laurent, le fleuve Mackenzie, la rivière St. Mary's et le fleuve Fraser). Le niveau de l'eau et le débit de ces voies navigables sont déterminés par les organismes fédéraux ou internationaux ayant compétence en matière de navigation (par ex., Pêches et Océans Canada, l'Administration de la Voie maritime du Saint-Laurent, le Conseil de réglementation de la Commission mixte internationale).

Sur ces cours d'eau, les barrages ont été construits au pied de rapides pour former des bassins destinés à faciliter la navigation. Des écluses ou des ascenseurs à bateaux ont ensuite été construits pour le franchissement de ces barrages. Les centrales hydroélectriques ont été aménagées par après, pour profiter de la chute à des fins de production d'électricité.

Les niveaux d'eau dans les voies navigables sont établis pour assurer un tirant d'eau suffisant. Les écluses ont priorité pour le débit, mais les quantités d'eau en cause n'ont pas une incidence sensible sur l'exploitation des centrales. Les débits restitués par les centrales ne doivent pas gêner la navigation. Le niveau de l'eau peut être abaissé durant l'hiver pour éviter les dommages aux écluses et autres ouvrages.

Les activités de loisirs

Les rivières et les réservoirs aménagés pour la production d'électricité sont bien souvent le site de nombreuses activités récréatives, surtout qu'un grand nombre des réservoirs au Canada sont en fait d'anciens lacs agrandis. Ces sites sont utilisés comme ressources récréatives plutôt en été qu'en hiver (chalets, camping, navigation de plaisance, pêche à la

ligne, natation, etc.), bien que les activités d'hiver (motoneige, pêche sur la glace, etc.) gagnent en popularité. Plusieurs compagnies d'hydroélectricité choisissent de réduire leur production en été pour favoriser les activités de loisirs, au prix d'une perte de souplesse d'exploitation et malgré une demande croissante d'électricité dans certaines provinces durant cette période de l'année.

Les organisateurs de loisirs préfèrent généralement que le niveau d'un réservoir demeure à peu près constant durant l'été, car cela facilite l'exploitation des ouvrages et aménagements riverains (en particulier, les quais et les plages). En aval, ils préfèrent un débit constant et modéré. Ces préférences sont plutôt en opposition avec les exigences d'exploitation durant cette période de l'année, notamment le marnage estival, la production de pointe et le remplissage. Par contre, la préférence pour un niveau d'eau moyennement élevé dans le bassin de tête et le bief d'amont est en accord avec la recherche d'une hauteur de chute maximale pour la production d'électricité.

Les centrales de pointe, qui produisent un débit d'aval maximal durant le jour, favorisent la descente en kayak, en canot et en radeau pneumatique. Par ailleurs, un débit réduit favorise la pêche à la ligne.

Les richesses patrimoniales

Dans plusieurs régions du Canada, les aménagements hydroélectriques peuvent se trouver à proximité de sites ayant une valeur patrimoniale. Historiquement, les fleuves et les rivières servaient de routes, et souvent les populations s'établissaient dans leurs plaines d'inondation. Or la formation de réservoirs qui inondent les plaines et modifient le débit des cours d'eau peut menacer l'intégrité de ces sites ou les rendre inaccessibles. Les sites à valeur patrimoniale comprennent, outre les sites d'établissement des premiers colons européens, les sites ancestraux des autochtones et les sites plus récents d'établissements sociaux et industriels.

L'impact des aménagements hydroélectriques sur les sites à valeur patrimoniale est attribuable aux inondations, à l'érosion causée par la fluctuation du niveau de l'eau dans les réservoirs et à la perte d'accessibilité des sites ou à leur non-disponibilité pour les usages traditionnels comme site d'habitation, de chasse et de pêche. Dans la mesure du possible, les exploitants tiennent compte de la présence de sites à valeur patrimoniale lorsqu'ils établissent leur programme d'exploitation et s'efforcent de ne pas compromettre l'accès à ces sites ou leur usage.

Exemples d'harmonisation des usages concurrentiels des eaux

- La production de pointe qui produit un débit d'aval maximal durant le jour peut favoriser la descente en kayak, en canot et en radeau pneumatique.
- Le maintien d'un niveau d'eau relativement élevé dans le réservoir en été, favorable aux activités récréatives, est aussi favorable au maintien des habitats des poissons fréquentant les eaux peu profondes ou frayant en été.
- Le débit minimum pour maintenir les prises d'eau submergées assure en même temps la protection des frayères et réduit le risque que les poissons soient retenus dans des étangs isolés ou que leurs voies de migration soient coupées.
- La formation d'une couche de glace stable à la surface de la retenue favorise les activités récréatives (par ex., motoneige, pêche sur la glace) tout en assurant des conditions d'écoulement optimales pour l'exploitation de la centrale.

La faune

Les exploitants d'aménagements hydroélectriques doivent aussi tenir compte de la faune associée aux cours d'eau et aux réservoirs. Par exemple, des oiseaux migrateurs peuvent utiliser ces lieux comme aires de nidification, des mammifères aquatiques peuvent les utiliser comme lieux d'hivernage et les ongulés peuvent mettre bas et s'alimenter sur leurs rives. La fréquentation de ces sites par la faune peut être en conflit avec les exigences d'exploitation des centrales et les autres usages concurrentiels des eaux.

Les zones riveraines (zones terrestres en bordure d'un cours ou d'un plan d'eau) comptent parmi les types d'habitats fauniques les plus productifs et les plus riches en espèces. La fluctuation du niveau de l'eau dans les réservoirs qu'entraînent les opérations hydroélectriques, et en particulier la baisse importante du niveau d'eau en hiver, peuvent avoir un impact considérable sur ces zones et sur la faune qui en dépend. Les terres humides des *plaines d'inondation* et les deltas sont particulièrement sensibles aux fluctuations de niveau, puisque les écosystèmes qui les caractérisent sont tributaires des variations saisonnières des apports (par ex., des crues printanières).

Les habitats aquatiques et les poissons

Les évaluations d'impact environnemental exigées par les autorités fédérales et provinciales pour les nouveaux projets hydroélectriques imposent certaines conditions visant à assurer la protection des habitats aquatiques et des poissons. Quant aux aménagements existants, certains exploitants ont de leur propre chef entrepris d'évaluer les répercussions de leurs activités, notamment en ce qui a trait à la modification du débit et du niveau de l'eau, sur les autres usages des eaux et sur les habitats aquatiques et les poissons. Lorsque cela est possible, ils peuvent modifier leur mode d'exploitation pour protéger ou remettre en valeur les habitats aquatiques et les ressources halieutiques. Sinon, ils peuvent mettre en œuvre certaines mesures pour atténuer ou compenser les effets négatifs de l'exploitation. On trouvera au chapitre 3 la description de mesures particulières prises par plusieurs producteurs d'hydroélectricité.

La gestion des eaux

Les exploitants de centrales hydroélectriques procèdent à l'établissement de leur programme d'exploitation et à la consultation des parties dont les intérêts sont en jeu d'une façon qui varie considérablement d'une région à l'autre du pays. L'harmonisation de la production hydraulique d'électricité avec les autres usages des eaux d'un bassin nécessite plus que jamais une concertation entre exploitants de centrales et organismes de réglementation, collectivités locales et autres intéressés, et cette concertation débouche sur un programme plus large de gestion des eaux.

Le programme de *gestion des eaux* d'une région reflète les particularités propres à celle-ci en matière de réglementation, d'hydrographie, de production d'hydroélectricité, de priorités quant aux ressources halieutiques et aux différents usages des eaux, des intérêts en jeu et des occasions de partenariats. Il vise à définir des règles d'exploitation applicables à une centrale ou un groupe de centrales et à préciser des valeurs optimales et limites de débit et de niveau de l'eau. Bien que l'unanimité ne se fasse pas toujours sur ces règles d'exploitation, il s'exerce un arbitrage entre les besoins des différents usagers des eaux.

En voici quelques exemples :

- L'instrument de planification adopté par la Colombie-Britannique (« **Water Use Planning Process** ») constitue une approche systématique et législative à la gestion des eaux. Des lignes directrices ont été élaborées aux termes de la *Water Act* dans le but d'améliorer la gestion des eaux aux sites aménagés. Ces lignes directrices ont pour objet d'informer les détenteurs de permis et promoteurs sur la préparation et le processus d'approbation de plans d'utilisation des eaux, et de renseigner les principaux intéressés sur la façon de participer au processus. Cette approche vise à ce que les décisions prises en matière de gestion des eaux reposent sur un consensus entre les organismes de réglementation, les Premières nations et les principaux intéressés.
- La Nouvelle-Écosse a adopté un programme d'examen des centrales hydroélectriques et des conditions environnementales dans les bassins hydrographiques aménagés (« **Operating Approval Renewal Process** »). Ce programme a été établi conjointement par le ministère de l'Environnement de la province et la société Nova Scotia Power Inc. Il repose sur la consultation avec les organismes de réglementation et le public en vue de cerner les problèmes liés à la production d'hydroélectricité et d'y apporter des améliorations progressives afin de pouvoir répondre également aux besoins des autres utilisateurs de l'eau.
- L'instrument de planification des usages de l'eau adopté par l'Ontario (« **Water Management Planning Process** ») constitue le fondement d'une nouvelle approche à la gestion des eaux proposée par le ministère des Ressources naturelles et les producteurs d'hydroélectricité. La planification se fait en fonction des effets des variations de niveaux et de débits sur les écosystèmes aquatiques et les usages concurrentiels des eaux. La démarche a pour objet l'élaboration et la diffusion d'un plan de gestion des eaux de l'ensemble du bassin considéré. Le processus comprend une évaluation de l'impact de la gestion actuelle des eaux sur les écosystèmes, le bassin hydrographique et les ressources; des audiences publiques; et l'élaboration d'un plan interorganisations pour une gestion améliorée. À ce jour, un seul plan de ce genre a été établi, mais trois autres sont en cours de préparation et d'autres encore sont à venir.
- Au Québec, suite à un engagement pris en 1996 en faveur de la gestion par bassin versant, un **projet pilote** a été mis en place sur la rivière Chaudière. Le Comité de mise en œuvre a présenté au ministre de l'Environnement en l'an 2000 un rapport sur le plan de gestion des eaux du bassin de cette rivière. Par ailleurs, le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement de la province a remis son rapport à la suite des audiences en vue de l'élaboration d'une politique officielle de gestion des eaux. Cette politique régira la gestion des eaux de surface et des eaux souterraines, de même que la production d'hydroélectricité et l'exportation d'eau embouteillée.
- Outre ces processus officiels, **la communication et la consultation externes** permettent aux producteurs d'hydroélectricité de prendre connaissance des problèmes liés à la gestion des eaux et de les corriger dès le moment où ils

sont soulevés par les organismes de réglementation, les intéressés ou le grand public. Nombre d'exploitants de centrales hydroélectriques ont mis au point des moyens novateurs de communication avec les autres utilisateurs des eaux du bassin aménagé : sites Web, lignes téléphoniques directes, bulletins d'information, chroniques dans les médias d'information et assemblées publiques locales.

3.0 PRATIQUES DE L'INDUSTRIE

Ce chapitre décrit diverses composantes de l'exploitation et de l'entretien des aménagements hydroélectriques, leurs effets sur les poissons et leur habitat et les moyens mis en œuvre pour éliminer, atténuer ou compenser ces effets. Il traite notamment des questions suivantes:

- La gestion des réservoirs
- La gestion du débit
 - La gestion du débit à long terme
 - La gestion du débit à court terme
 - Les déversements
 - Le fonctionnement des turbines en compensateurs synchrones
- Les barrages et les déplacements des poissons
- Les centrales à réserve pompée
- L'entretien
 - L'entretien courant
 - Les réparations et les remises en état

Chacune de ces composantes fait d'abord l'objet d'une description, suivie d'une énumération de ses incidences sur les poissons et leur habitat. Sont ensuite présentées les principales considérations (par ex., caractéristiques et configuration de l'installation, régime du cours d'eau, exigences liées aux autres usages de l'eau) susceptibles de limiter la possibilité de modifier le mode d'exploitation ou de mettre en œuvre des mesures favorables aux poissons et à leur habitat. On trouve en dernier lieu des mesures qui peuvent être prises pour éviter, atténuer ou compenser les effets négatifs des aménagements hydroélectriques, accompagnées (en encadré) d'exemples d'applications dans les différentes régions du pays.

On trouvera à l'annexe C une liste de documents de référence pour chaque sujet traité.

3.1 LA GESTION DES RÉSERVOIRS

Description

Les réservoirs d'accumulation permettent d'emmagasiner la source de force motrice nécessaire pour satisfaire à la demande d'électricité à tout moment de l'année. L'accumulation saisonnière assure une réserve et permet d'adapter la production d'énergie selon la demande d'électricité au cours de l'année. En plus de compenser les variations annuelles et saisonnières extrêmes des apports d'eau et de la demande d'électricité, les réservoirs constituent une réserve fiable d'eau en périodes de sécheresse et assurent une protection contre les inondations lorsque les apports d'eau sont importants.

Le niveau de l'eau dans un réservoir annuel fluctue en fonction du cycle annuel des apports d'eau et de la demande d'électricité. Il est généralement au plus bas au début du printemps, avant la fonte des neiges. Il atteint un maximum à la fonte des neiges, redescend durant l'été, remonte à l'automne avec les pluies, et baisse de façon continue durant l'hiver. Dans certains cas, il monte de façon continue à partir de la fonte des neiges jusqu'au début de l'automne. Dans le cas de réservoirs pluri-annuels, le remplissage et la vidange s'étalent sur plusieurs années, et la valeur de l'abaissement annuel moyen du niveau est généralement très en deçà de la valeur maximale pour la période considérée.

Le degré et la vitesse de fluctuation du niveau de l'eau dans un réservoir dépendent du type de barrage ou de réservoir, des conditions climatiques, du relief du terrain et d'autres facteurs. Dans les réservoirs de moindre capacité, le remplissage et la vidange s'opèrent sur une base quotidienne ou hebdomadaire, la fluctuation du niveau de l'eau ne s'observe pas sur une base saisonnière ou annuelle. Dans les aménagements au fil de l'eau, le niveau de l'eau est à peu près constant, puisque l'eau est restituée pratiquement au fur et à mesure qu'elle est utilisée. En règle générale, on cherche à maintenir un niveau maximum d'eau dans les réservoirs pour bénéficier d'une hauteur de chute maximale.

La quantité d'eau relâchée du réservoir est réglée par des vannes de contrôle et/ou par les turbines. Le niveau de l'eau dans un réservoir est maintenu entre un minimum et un maximum admis pour l'exploitation normale. On désigne respectivement par les termes vidange et remplissage l'abaissement ou l'augmentation du niveau de l'eau dans le réservoir. Souvent les niveaux maximum et minimum et parfois aussi le moment et la vitesse de vidange ou de remplissage sont dictés par des lois, des règlements ou d'autres impératifs.

Effets sur les poissons et leur habitat

Les réservoirs peuvent constituer des lieux de pêche intéressants. Lors de la mise en eau, ils accroissent l'habitat des poissons en transformant des habitats terrestres et *lotiques* en habitats *lacustres*, ce qui donne lieu à un remplacement progressif des espèces. Certaines espèces, dont le kokani, le touladi, le doré jaune, le grand brochet et l'achigan à petite bouche, s'adaptent bien aux conditions de vie dans un réservoir. Cependant, plusieurs d'entre elles frayent le long des rives et dans les eaux peu profondes et sont donc vulnérables aux baisses du niveau de l'eau dans le réservoir.

L'exploitation d'un réservoir peut par ailleurs avoir des effets négatifs sur les poissons et

leur habitat, effets dont l'importance est fonction des caractéristiques hydrologiques du réservoir, de son exploitation pour la production d'électricité, de ses caractéristiques physiques telles que pente des rives, profondeur moyenne et maximale, de la cote des dispositifs d'évacuation, du temps de l'année où se font les évacuations, le turbinage, ainsi que le *marnage*.

L'ampleur du marnage causé soit par les apports d'eau, soit par la production d'énergie, et le moment où il survient ont des répercussions importantes sur les poissons et leurs habitats. L'augmentation du niveau peut se produire plus d'une fois au cours d'un cycle annuel. En règle générale, il se produit à la fonte des neiges et lors des pluies automnales. Le moment précis où le réservoir est rempli est critique pour les espèces qui frayent dans les zones littorales. Si le réservoir est rempli trop tard, les espèces qui frayent dans les zones *littorales* ou dans les cours peu profonds (les affluents) risquent de ne pas avoir accès à leurs zones de frai. S'il est rempli trop tôt, il offre moins de capacité disponible pour l'emmagasinement des eaux de crues de la fin du printemps. Par ailleurs, la retenue des crues peut priver le cours d'eau d'une action de nettoyage et de transport de gravier et du maintien des habitats riverains en aval du réservoir.

Les variations de niveau peuvent entraîner la dégradation des berges et des zones littorales. Les baisses de niveau sont susceptibles de réduire la productivité des zones littorales et l'accès aux affluents servant de frayères. Les augmentations de niveau peuvent aussi réduire la productivité des zones littorales, du fait qu'elles réduisent la quantité de lumière qui pénètre jusqu'au fond du réservoir, et elles peuvent causer l'inondation des affluents et, par conséquent, la détérioration, voire l'élimination d'habitats lotiques. Parfois, un niveau d'eau élevé peut être favorable aux poissons du fait qu'il crée des habitats d'hivernage. Les baisses importantes de niveau qu'on observe en hiver dans la plupart des réservoirs de stockage canadiens peuvent entraîner l'assèchement des zones littorales et le gel ou la dessiccation des œufs déposés au cours de l'automne. Elles peuvent par ailleurs être bénéfiques pour certaines aires de frai qui se trouveront au printemps et à l'été suivants exposées à l'action nettoiyante de l'air, de la pluie et des vagues.

Peu importe le type de réservoir, une variation rapide du niveau de l'eau, causée par les crues ou par d'importantes *lâchures*, peut déplacer les poissons ou les retenir captifs. Par ailleurs, les terres humides des plaines d'inondation dépendent fortement des variations saisonnières du niveau de l'eau, et un niveau trop constant en été peut transformer des terres humides productives en habitats terrestres.

L'effet des variations du niveau de l'eau dépend en grande partie des caractéristiques physiques du réservoir. Les réservoirs dont les rives sont en pente raide ont des zones littorales moins étendues que ceux dont les rives ont des pentes faibles, de sorte qu'ils ne sont pas affectés de la même façon que ces derniers par les variations du niveau de l'eau. Les réservoirs profonds peuvent avoir sur les poissons un impact plus important que les réservoirs de faible profondeur, à cause de leur incidence sur la qualité et la température de l'eau. Les réservoirs profonds peuvent présenter une *stratification thermique* en été et les eaux des couches profondes, plus froides, peuvent avoir une teneur en oxygène réduite (anoxie) à certains moments de l'année. Les couches dépourvues d'oxygène ne sont pas fréquentées par les poissons, et le manque d'oxygène dissous peut se répercuter sur les eaux d'aval et être source de stress physiologique, de perte de productivité et même de mortalité des poissons. L'impact est plus ou moins important selon la profondeur des prises d'eau et la saison où elles sont utilisées. Les réservoirs de faible profondeur et les

barrages au fil de l'eau n'ont aucune ou pratiquement aucune incidence sur la température de l'eau, et leur niveau est généralement maintenu pour obtenir une chute optimale.

Une des conséquences possibles de la création d'un réservoir, qui peut être de longue durée, est la libération de méthyl-mercure au moment de la mise en eau. Le mercure est un élément qui est sujet à accumulation dans les maillons successifs de la chaîne alimentaire et qui peut se retrouver à des concentrations élevées dans les poissons du réservoir et des eaux d'aval durant de nombreuses années. Cependant, après un certain temps, le taux de libération de mercure dans la plupart des réservoirs se stabilise au niveau naturel. Plusieurs compagnies d'hydroélectricité ont participé à des études avec le gouvernement fédéral sur cette question (voir l'annexe C).

Autres considérations

Les réservoirs jouent un rôle très important dans la **protection contre les inondations**. On y maintient un faible niveau d'eau aussi tardivement que possible au printemps afin qu'ils puissent emmagasiner les eaux de crues. Ce qui peut par ailleurs affecter les zones littorales et couper l'accès aux affluents servant de frayères.

Les exploitants de réservoirs doivent minimiser l'**érosion des rives** et protéger la **végétation littorale**. L'érosion peut provoquer des mouvements de sol et, dans des conditions extrêmes, peut donner lieu à des tourbillons de poussière.

Les **activités de loisirs**, notamment la natation, la navigation et la pêche, doivent aussi être prises en compte dans l'exploitation d'un réservoir. Les exploitants doivent éviter en été les baisses de niveau susceptibles de perturber ces activités. Les niveaux qui sont favorables aux activités de loisirs en été sont aussi favorables aux poissons et aux habitats qu'ils fréquentent.

Certains aménagements hydroélectriques sont exploités de concert avec la **navigation** et le **transport maritime**, et le niveau de l'eau dans les réservoirs doit être réglé

Exemples de mesures

- BC Hydro a récemment élaboré un plan de gestion des eaux dont un des principaux objectifs vise les zones littorales, et le programme d'exploitation établi par la suite s'est traduit par une augmentation du potentiel de littoral productif de 30 à 860 hectares.
- En Saskatchewan, l'abaissement du niveau du réservoir de la centrale E.B. Campbell est soumis à une restriction pour une période de 30 jours suivant la crue printanière, afin de protéger les zones de frai du brochet dans le lac Tobin.
- Les sociétés Manitoba Hydro et Hydro-Québec exercent une surveillance des niveaux de méthyl-mercure et de gaz à effet de serre dans certains de ses réservoirs.
- La société Ontario Power Generation limite l'abaissement du niveau de plusieurs de ses réservoirs en hiver afin de protéger les œufs et les alevins de touladi.
- La société Hydro-Québec vidange un de ses réservoirs à compter du 1^{er} août de chaque année pour qu'il soit à son niveau minimum avant le frai du touladi à l'automne.
- Great Lakes Power Ltd. a modifié l'ampleur et la période de marnage de quelques-uns de ses réservoirs de tête pour favoriser les populations de doré jaune.
- Nova Scotia Power limite l'abaissement du niveau de plusieurs réservoirs du bassin Black/Gaspereau durant la période de la fin mai à la fin juin afin de ne pas nuire à la fraie de l'achigan à petite bouche.
- Énergie Nouveau-Brunswick est tenue par des ententes de respecter un niveau minimal dans certains réservoirs afin de protéger les zones de frai du touladi.

pour permettre ces activités et éviter les échouements et les dommages aux bateaux, aux écluses et aux autres ouvrages. La gestion des réservoirs détermine aussi en grande partie le moment où se forme la couverture de glace, de même que l'uniformité et la stabilité de cette couverture.

La gestion des réservoirs peut avoir une incidence sur les **ouvrages et propriétés privés**, en perturbant l'équilibre des berges et en causant l'érosion et la sédimentation. On réserve généralement autour du réservoir une zone tampon pour tenir compte des variations de niveau nécessaires à la production d'énergie et à la protection contre les crues et pour la stabilité géotechnique. Cependant, certaines crues sont si importantes qu'elles peuvent déborder cette zone tampon et endommager les ouvrages tels que les quais, les rampes de mise à l'eau et les prises d'eau.

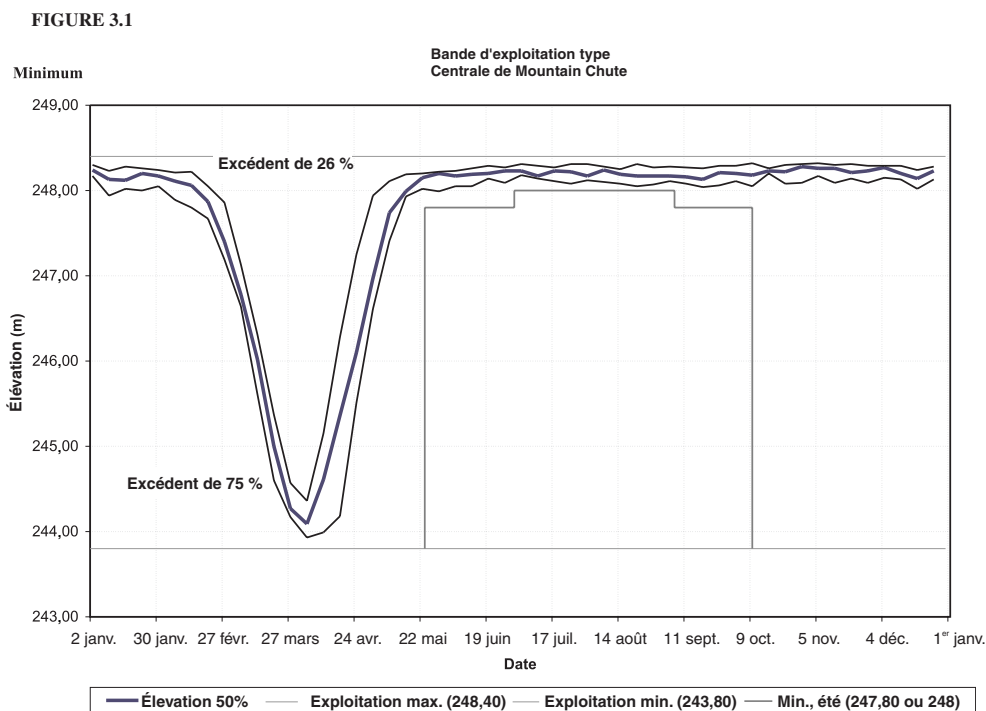
Un abaissement important du niveau de l'eau dans un réservoir peut donner lieu à des **tourbillons de poussière**, à l'affaissement des berges et à la **perte de végétation riveraine**. La vidange est généralement d'assez longue durée pour empêcher l'établissement naturel d'une végétation terrestre ou aquatique.

Depuis quelques années, les espèces menacées de disparition ou vulnérables sont devenues à l'ordre du jour, et il faudra dans l'avenir accorder une attention particulière aux habitats des **espèces végétales ou animales à risque**.

Exemples de mesures d'atténuation

Exploitation :

Les **protocoles d'exploitation** des réservoirs sont établis en fonction des exigences réglementaires, environnementales, opérationnelles et autres. Ils varient des simples ententes informelles avec les collectivités ou les utilisateurs des ressources de la région aux ententes



formelles dans lesquelles sont prévues des modalités d'évaluation et de modification des permis d'exploitation hydraulique. On a très souvent recours à des *courbes d'exploitation optimale* pour définir la manière dont le réservoir doit être exploité (variations de niveaux et moment de l'année approprié) pour satisfaire à toute la gamme des exigences, tout au long de l'année : production d'énergie, protection contre les crues, gestion des glaces, protection des ressources halieutiques et des habitats aquatiques, activités de loisirs, richesses patrimoniales et autres, selon le cas. Plus la situation est complexe, et plus la courbe est détaillée. On trouvera un exemple de ces courbes d'exploitation à la figure 3.1.

Voici quelques exemples de contraintes d'exploitation visant à assurer la protection des poissons et de leurs habitats :

Établissement de **niveaux propices** à la fraie, à l'incubation des œufs et aux autres exigences écologiques des poissons. Ces niveaux cibles doivent être coordonnés avec les exigences d'exploitation de la centrale et les exigences des autres usages des eaux, comme les activités de loisirs, les activités liées aux sites à valeur patrimoniale et la navigation.

Établissement de **restrictions** sur l'ampleur du marnage, sa vitesse et le moment de l'année où il peut être effectué afin d'éviter que les poissons soient retenus captifs dans des étangs isolés ou que les frayères soient dégradées. Ainsi, pour protéger les espèces qui frayent à l'automne, on peut imposer un niveau d'eau en hiver qui couvre les aires de frai ou d'incubation; ou encore, on peut interdire l'assèchement des zones de frai ou d'incubation en tout temps sauf au printemps. Ces restrictions doivent être définies en tenant compte des exigences d'exploitation de la centrale, de la protection contre les crues et des autres usages des eaux.

Le **remplissage** des réservoirs **au début du printemps** favorise l'accès aux affluents et aux terres humides de la plaine d'inondation pour la fraie. Toutefois, il s'oppose à l'usage du réservoir pour la régularisation des crues à la fin du printemps. Dans certains cas, le choix ne se pose pas; le moment du remplissage est déterminé par les conditions climatiques.

Dans les **aménagements en cascade**, le débit d'une centrale amont peut parfois être réglé pour favoriser une étape critique du cycle vital, comme la fraie, des poissons qui peuplent le réservoir d'aval.

Autres mesures :

La **recherche** et le **suivi** peuvent mener à des solutions pour atténuer l'impact des réservoirs sur les poissons et leurs habitats. Des études sont en cours sur la productivité des réservoirs, l'érosion des rives par le vent et par les vagues, l'efficacité de la fertilisation, l'ensemencement des rives et la modélisation des concentrations de mercure dans les poissons. Certains réservoirs servent de sites expérimentaux pour l'étude de la résistance de certaines espèces végétales à des périodes prolongées d'inondation ou d'assèchement. Des chercheurs tentent aussi de produire des modèles de réponse des peuplements de poissons aux modes d'exploitation des réservoirs. D'autres se penchent sur l'efficacité de marais et d'îles flottantes comme moyen d'assurer la permanence des habitats en période d'abaissement du niveau du réservoir.

La **stabilisation des rives** des réservoirs par la mise en place d'un *perré*, une remise en végétation ou quelque autre moyen peut enrayer les effets de l'érosion et de la sédimentation sur les rives et les écosystèmes.

Diverses mesures peuvent être envisagées pour compenser les conséquences de l'exploitation des réservoirs. Parfois, la **fertilisation** du réservoir permettra la survie et la croissance des populations de poissons et d'autres organismes aquatiques (c'est le cas de réservoirs profonds dont les zones littorales sont relativement peu importantes et les concentrations d'éléments nutritifs limitantes). Si la concentration en oxygène dissous est insuffisante, on peut employer des diffuseurs d'air ou d'autres moyens semblables pour **oxygéner la colonne d'eau**. L'**ensemencement** annuel par des graminées des zones dénudées par l'érosion est pratiqué pour améliorer la qualité de l'air, le paysage et les habitats des poissons et de la faune.

Les frayères affectées par les variations du niveau de l'eau dans les réservoirs peuvent être remplacées par l'**aménagement** de nouvelles frayères. Ainsi, pour les espèces qui frayent dans le réservoir, des aires de frai peuvent être aménagées à faible profondeur sous le niveau minimum admissible, afin de soustraire ces espèces aux effets des variations du niveau de l'eau. Pour les espèces qui frayent dans les cours d'eau, des frayères peuvent être aménagées dans les affluents, en amont de la zone d'influence du réservoir. En aval du réservoir, on peut déverser du gravier sur le lit du cours d'eau pour compenser l'absence de transport de matériaux provenant de l'amont. On peut aussi aménager des canaux latéraux de frai ou d'alevinage. Ces stratégies sont souvent qualifiées de stratégies de « compensation », notamment dans la *Politique de gestion de l'habitat du poisson du gouvernement fédéral*. Mais on peut aussi créer de nouveaux habitats là où il n'y a eu aucune perte, ou pour favoriser des espèces considérées comme ayant une plus grande « valeur ».

Si la restauration ou la création d'habitats s'avèrent impossibles, les poissons peuvent être élevés en pisciculture puis relâchés dans le réservoir pour le **repeupler** et créer des opportunités pour la pêche sportive. Aux yeux de la majorité des intéressés, y compris les exploitants de centrales et Pêches et Océans Canada, cette option constitue la solution de dernier recours.

3.2 LA GESTION DU DÉBIT

Description

Un réseau de production d'électricité est exploité de manière à satisfaire à la totalité de la demande en tout temps de l'année, indépendamment des conditions climatiques et autres variables. La production d'électricité se fait en fonction de deux impératifs : la charge de base et la charge de pointe. La charge de base occupe l'essentiel de la production du réseau – c'est-à-dire la production constante d'énergie pour satisfaire à la demande constante sur une période donnée. Le découpage de la production de base en *tranches de puissance* permet de couvrir les variations saisonnières de la demande. La production de pointe s'ajoute à la production de base pour couvrir les variations horaires ou sur une courte durée de la demande. Les centrales hydroélectriques forment une partie importante du réseau de production d'électricité et elles sont soumises aux trois modes d'exploitation, auxquels correspondent des régimes hydrauliques différents.

La production d'hydroélectricité repose sur le contrôle des cours d'eau naturels, qui s'obtient par la construction de barrages et la formation de réservoirs et de biefs. Les barrages servent à capter les eaux en vue d'une utilisation ultérieure ou à les détourner vers un autre cours ou un autre bassin hydrographique. Ces aménagements affectent deux zones : (1) l'habitat *lotique* en amont du barrage est transformé, avec la formation d'un réservoir, en habitat *lacustre*; (2) l'habitat lotique en aval du barrage est modifié par suite de la modification du volume et de la vitesse d'écoulement, et parfois de la température, de l'eau. La protection des poissons et de leur habitat à l'aval des barrages est un des nombreux facteurs à prendre en compte dans la gestion du débit.

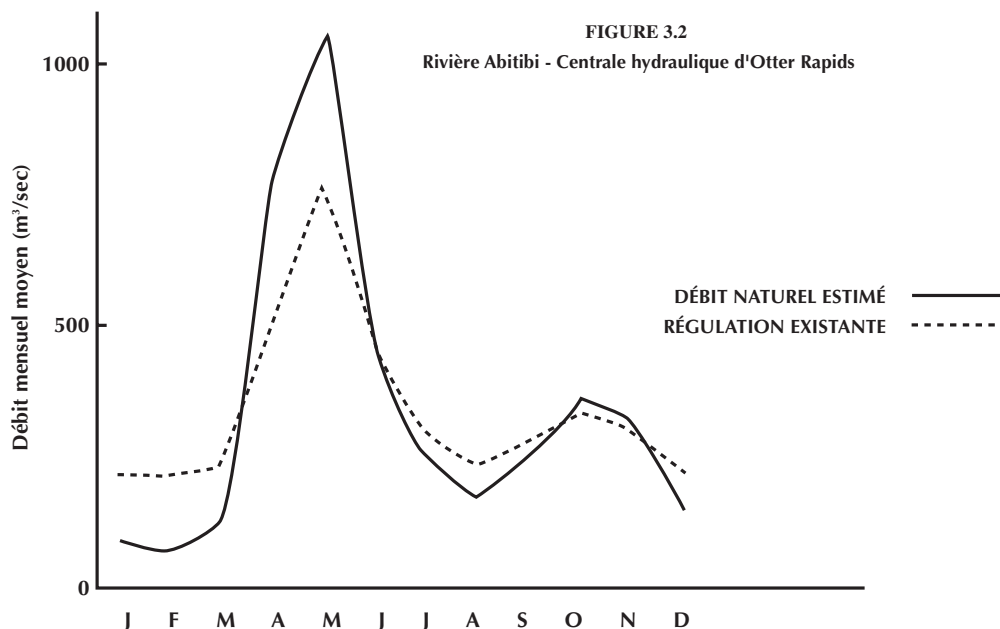
La gestion de l'eau retenue se fait grâce à différents ouvrages : évacuateurs de crues, vannes, canaux et turbines hydrauliques. La mise en place d'un système de contrôle du régime naturel d'un cours d'eau a une incidence sur les poissons et les habitats aquatiques, du fait qu'elle modifie l'écoulement, qu'elle le répartit différemment dans le temps (sur une base horaire, journalière, hebdomadaire, mensuelle, annuelle) et qu'elle modifie les propriétés physiques et chimiques de l'eau. Ces actions peuvent être en opposition avec les besoins des différents stades du cycle vital des espèces qui ont évolué dans les conditions naturelles du cours d'eau.

La *gestion du débit* est le processus qui permet de concilier les exigences d'exploitation des centrales et les exigences environnementales et autres à l'aval. Les centrales qui fournissent la puissance de base et les tranches de puissance (donc, celles qui sont alimentées par un réservoir plus important) ont une incidence à long terme sur le débit d'aval, alors que les centrales de pointe ont une incidence à court terme. Le déversement des eaux en excédent de la capacité d'emmagasinement du réservoir augmente le débit d'aval. Pour des raisons de sécurité publique, on procède aussi à des déversements ou des lâchures pour augmenter la capacité d'emmagasinement du réservoir avant les périodes de précipitations abondantes, dont les eaux pourraient compromettre l'intégrité du barrage. Le fonctionnement de turbines en compensateurs synchrones pour la régulation de la tension dans le réseau de transport peut avoir une incidence sur la qualité de l'eau d'aval. Les sections ci-après traitent en détail des différents aspects de la gestion du débit aux fins de la production d'électricité.

3.2.1 La gestion à long terme

Description

La gestion à long terme du débit d'un cours d'eau consiste à modifier le régime d'écoulement naturel de manière à satisfaire à la demande saisonnière, annuelle et pluriannuelle d'électricité tout en assurant en aval la protection des poissons et de leurs habitats et les autres besoins. La gestion du débit est une nécessité incontournable, vu le déphasage entre la demande d'électricité et la disponibilité de l'eau. En effet, la demande d'électricité est généralement plus forte en hiver qu'en été et, à l'inverse, les apports d'eau sont faibles en hiver. Ils sont abondants au printemps, puis diminuent en été. Certaines régions connaissent une deuxième hausse avec les pluies abondantes en automne. Les apports d'eau saisonniers sont pour produire l'électricité, maximiser les réserves d'eau et assurer un compromis entre les considérations environnementales et les autres usages de l'eau.



Le moment précis et le volume des lâchures de barrages peuvent s'écarter considérablement des cycles hydrologiques naturels. C'est pourquoi les autorités imposent certaines contraintes relatives aux débits, obligeant notamment les exploitants à lâcher des *débits d'entretien* pour préserver la morphologie naturelle du lit du cours d'eau et à maintenir un *débit minimum* ou *débit réservé* à l'aval de l'aménagement hydroélectrique pour assurer la protection des ressources et des habitats aquatiques. Un débit minimum est parfois prescrit également pour des zones en aval des barrages de dérivation ou des barrages de réservoirs qui ne sont pas directement influencés par le débit turbiné, mais qui subissent l'influence de la gestion à long terme du débit du cours aménagé.

De nombreuses centrales n'ont pas de débit réservé. C'est le cas, par exemple, des centrales aménagées juste à l'amont d'une zone soumise à l'influence des marées, et des centrales à l'aval desquelles les eaux ne sont pas peuplées par des espèces à risque ou lorsqu'il n'y a pas de contrainte à la navigation. D'autres facteurs peuvent justifier l'absence de débit réservé (par ex., autorisations, ententes antérieures, plans de gestion des eaux, antécédents historiques, contraintes géographiques). Dans le cas des centrales

au fil de l'eau, le débit restitué est pratiquement égal au débit naturel du cours d'eau. La nécessité de maintenir un débit minimum peut constituer une contrainte importante dans la gestion à long terme du débit.

La gestion à long terme du débit du cours d'eau est le moyen employé pour concilier les exigences environnementales, notamment la protection des poissons et des habitats aquatiques, et les exigences opérationnelles de production d'hydroélectricité. La prescription d'un débit minimum, le cas échéant, est un moyen d'assurer en même temps la protection des ressources aquatiques et la rentabilité de l'aménagement hydroélectrique.

Effets sur les poissons et leur habitat

La gestion à long terme du débit d'un cours d'eau a surtout des effets positifs sur les populations de poissons et les habitats aquatiques, du fait qu'elle se traduit par une répartition sur toute l'année des apports saisonniers d'eau. De nombreux systèmes naturels sont caractérisés par de très faibles apports en été et en hiver, ce qui réduit la productivité des cours d'eau et, dans certains cas, la qualité de l'eau. La capacité d'emmagasiner les crues printanières et les pluies automnales et de les relâcher à la fin de l'été et en hiver soutient les étiages et permet dans certains cas un plus grand volume d'habitats aquatiques et des populations de poissons plus importantes, et même une amélioration de la qualité de l'eau. L'intérêt principal du maintien d'un débit minimum réside dans la conservation des ressources halieutiques qui, sans cette mesure, seraient gravement réduites sous l'effet d'une perte d'habitats, d'une augmentation de la température de l'eau et d'une plus grande prédation.

La gestion du débit est aussi favorable à la conservation des habitats du *benthos*, source importante de nourriture pour les poissons, et à la conservation des frayères. Par ailleurs, en modifiant le cycle annuel de mouvement et de dépôt de matériaux, elle peut être à l'origine de l'érosion des berges et d'une réduction de la diversité morphologique. Les lits à fond alluvionnaire meuble sont modelés par l'action des forts et faibles débits, qui entraînent les matériaux fins et apportent des matériaux neufs meubles et les répartissent sur le fond. En l'absence de ce processus naturel, les aires de frai sont susceptibles de devenir plus homogènes, ce qui peut être défavorable au frai. De plus, la modification du débit perturbe le processus naturel d'érosion et de dépôt pouvant entraîner des dépôts d'argile à l'embouchure des tributaires, réduisant l'accessibilité à certains habitats. Ces effets négatifs peuvent être atténués par des lâchers annuels, éventuellement combinés avec des déversements.

L'importance des effets bénéfiques de la gestion du débit peut varier en fonction du site, des espèces de poissons en présence et d'autres facteurs propres au projet considéré. Plus particulièrement, la nature et l'étendue de leur action sur l'environnement seront différentes pour une centrale aménagée loin en amont de l'estuaire d'une rivière et une centrale aménagée juste en amont de la ligne extrême des eaux de marée.

Autres considérations

Les **contraintes particulières à une centrale**, en particulier le rapport entre la puissance installée, les apports en eau et la capacité d'emmagasinement, déterminent dans une large mesure la capacité d'assurer un débit réservé. Ainsi, un réservoir peut avoir une capacité insuffisante pour permettre l'emmagasinement au printemps du volume d'eau nécessaire pour couvrir la demande d'électricité en été et assurer un débit minimum adéquat pour les poissons à l'automne. De même, le débit maximal que la turbine peut passer peut déterminer la quantité d'eau restituée en toute saison.

Les **régimes climatiques à long terme** sont importants pour déterminer les apports que l'on pourra attendre de la rivière. Si les précipitations sont moins abondantes que la normale, il peut s'avérer impossible d'assurer un débit minimum. En présence de facteurs tels que les changements climatiques, on peut observer des conditions hydrauliques qui s'écartent des régimes historiques.

D'autres facteurs sont à prendre en compte dans la gestion à long terme du débit, notamment la **sécurité publique, l'intégrité du barrage**, la demande d'électricité dans les **situations d'urgence** et l'action des variations du niveau de l'eau et de l'évolution des berges sur les **ouvrages et les propriétés privés**. Il faut aussi tenir compte des autres usages de l'eau : industries diverses, pêche commerciale, activités de loisirs, etc.

Exemples de mesures d'atténuation

Pour déterminer l'utilisation optimale des eaux et le débit minimum approprié, il faut étudier soigneusement plusieurs facteurs. Cela fait normalement partie de l'établissement du programme d'exploitation (se reporter à la section 2.2), où se décide la contribution d'une centrale donnée à la production globale d'électricité du réseau durant l'année. S'il a été déterminé qu'il serait avantageux de maintenir un débit minimum en aval, le **procédé à suivre pour la gestion à long terme du débit** est le suivant :

1. Faire une description précise du système, en énonçant les possibilités et les limites en ce qui a trait au débit. Cette étape peut nécessiter la collecte de données sur les conditions physiques, l'*hydrologie*, les pratiques antérieures, les contraintes inhérentes à l'installation et les répercussions du maintien d'un débit réservé sur les autres objectifs de la gestion des eaux.
2. Identifier les espèces de poissons et autres animaux aquatiques pour évaluer la sensibilité de leurs habitats.
3. Étudier les principaux facteurs, notamment la disponibilité de données, les exigences réglementaires, les autres usages de l'eau, le coût du débit réservé et les priorités des enjeux.

Exemples de mesures

- La société Énergie Nouveau-Brunswick a convenu de maintenir des débits déterminés en aval de certains réservoirs pour assurer la migration et la fraie du saumon atlantique.
- Nova Scotia Power a établi un plan de gestion du débit pour le bassin de la Gaspereau visant à favoriser la remontée de l'éperlan, du gaspareau et du saumon atlantique.
- Great Lakes Power Ltd. assure un débit de 17 m³/s à longueur d'année à la centrale Scott pour favoriser les pêcheries de truite arc-en-ciel, de doré jaune, de saumon, de carpe et d'esturgeon.
- Un seuil construit par Manitoba Hydro à Cross Lake favorise l'augmentation des populations de corégone, en assurant un niveau minimum plus élevé et en atténuant les variations saisonnières du niveau de l'eau.
- SaskPower contrôle les concentrations d'oxygène dissous à la centrale de Nipawin afin de déterminer si une intervention est nécessaire pour protéger les populations de doré jaune en aval, qui font l'objet d'une pêche importante.
- BC Hydro s'est engagée à maintenir dans la rivière Alouette un débit minimum en tout temps de l'année qui soit favorable à l'habitat des poissons et des niveaux dans les réservoirs propices à la protection contre les crues et aux activités de loisir en été.
- Ontario Power Generation a installé des cales sur les vannes de plusieurs de ses barrages pour assurer un écoulement minimal propice à la qualité esthétique du site, à la qualité de l'eau et aux habitats des poissons.
- Hydro-Québec assure des débits minimums ou saisonniers à l'aval de plusieurs de ses barrages afin d'assurer le frai de diverses espèces de poissons.

4. Sélectionner la méthode appropriée de détermination du débit minimum (se reporter à l'annexe D) et l'utiliser pour établir un programme de gestion du débit le plus en harmonie possible avec les autres usages de l'eau.
5. Évaluer l'impact de ce programme de gestion du débit sur la production et les coûts et modifier le débit au besoin. Dans la plupart des cas, le programme final est le résultat d'un calcul où l'on balance fonctionnement optimal de la centrale et autres besoins en eaux de la région. Si le coût est prohibitif, le programme d'exploitation de la centrale n'est pas modifié.

Exploitation :

S'il est possible de modifier le programme d'exploitation, on peut procéder de différentes façons. Dans le cas d'espèces faisant l'objet d'une pêche importante ou d'autres espèces ciblées, on peut intégrer un **débit minimum ou saisonnier** aux courbes d'exploitation optimale et aux protocoles d'exploitation. En règle générale, un débit minimum est établi pour une période de frai, qui peut varier entre un et plusieurs mois (par ex., débit minimum de printemps ou d'hiver). Dans le cas des barrages de dérivation et des barrages de réservoirs, un débit minimum peut être établi pour l'année, car les habitats en aval de ces ouvrages ne sont pas influencés par les débits turbinés.

Lorsque sont visées des ressources halieutiques ou des espèces sensibles jugées importantes par les organismes réglementaires, les exploitants ou d'autres centrales peuvent être mises en **production de base** ou en **production de tranches de puissance** pour une période déterminée afin d'assurer un débit minimum durant la période de frai et d'incubation. Le débit peut être réglé de manière à inciter les poissons à frayer dans les points bas du lit de la rivière, où les œufs ne risquent pas d'être exposés.

Même en présence de niveaux adéquats, le frai et les autres fonctions vitales peuvent être perturbés par des facteurs comme la sédimentation. Ce problème peut être évité par des **lâchures périodiques**, c'est-à-dire le lâcher d'un important débit pour évacuer les sédiments déposés, nettoyer les aires de frai et, dans certaines circonstances, initier la migration des poissons. On peut aussi réduire l'accumulation de sédiments en pratiquant des lâchures appropriées au printemps.

Des déversements reproduisant l'*hydrogramme* naturel ont également été utilisés comme moyen de déclencher la migration ou la fraie.

Lorsque le débit est anormalement faible, les producteurs d'hydroélectricité peuvent **consulter** les organismes de réglementation et les principaux intéressés afin de discuter des exigences et des limites particulières en matière de maintien de débit.

Il existe plusieurs méthodes pour la détermination du **débit réservé**. La méthode à adopter dans chaque cas particulier dépend de plusieurs facteurs, notamment de la disponibilité de données biologiques, des conséquences possibles de l'exploitation de la centrale sur les poissons et leurs habitats et sur les autres usages de l'eau ainsi que du coût d'assurer un débit réservé (rentabilité de l'exploitation hydroélectrique). Voici quelques méthodes courantes pour déterminer le débit réservé qu'il convient d'assurer.

- **Avis de spécialistes** – détermination du débit minimum à partir de l'expertise d'un biologiste ou d'une équipe pluridisciplinaire
- **Débit de base** – méthode hydrologique utilisant les données historiques pour déterminer le débit médian du mois du plus faible débit
- **Méthode de Tennant** – méthode hydrologique définissant huit classes de débit exprimés en termes de pourcentage du débit moyen annuel
- **Méthode du périmètre mouillé** – méthode hydraulique fondée sur l'hypothèse d'une relation entre le périmètre mouillé (longueur du fond en contact avec l'eau dans une section de rivière) et l'habitat disponible des poissons
- **Indice de qualité des habitats** – repose sur des analyses statistiques de corrélation entre les caractéristiques du cours d'eau et les effectifs des populations de poissons
- **Méthode des microhabitats (IFIM)** – repose sur une combinaison de concepts de gestion intégrée des ressources en eau, de modèles analytiques pour l'étude des paramètres physico-chimiques, d'analyses des différentes options et d'arbitrages, et des critères basés sur le programme de simulation de l'habitat physique PHABSIM
- **Gestion adaptative** – processus de mise à l'essai de différents programmes de gestion, suivie d'une évaluation des conséquences sur les poissons et leur habitat; utilisée surtout lorsque les ressources présentent une grande valeur
- **Méthodes adaptées aux conditions locales** – détermination du débit minimum à partir des données et des exigences locales, souvent au moyen d'une des méthodes classiques adaptées.

On trouvera à l'annexe D une description de chacune de ces méthodes.

Autres mesures :

Dans les cas où il n'est pas possible ou souhaitable de maintenir un débit minimum ou de modifier les modalités d'exploitation, on peut mettre en œuvre certaines mesures pour compenser les effets négatifs inévitables de l'exploitation hydroélectrique sur les poissons et leurs habitats. L'**amélioration de l'habitat**, tant quantitative que qualitative, permet de conserver la productivité du bassin versant. Dans certaines situations, il conviendra de combiner le maintien d'un débit minimum approprié et des mesures d'amélioration de l'habitat.

À défaut de pouvoir assurer un débit minimum, on peut prendre des mesures pour **améliorer l'habitat dans le chenal** du *cours principal* ou des affluents.

Les **frayères** et autres habitats qui se trouvent à faible profondeur et risquent d'être exposés par suite de l'exploitation hydroélectrique peuvent être réaménagés en deçà du niveau minimum. Sinon, des frayères artificielles peuvent être aménagées en des endroits plus profonds du chenal.

Des *seuils* peuvent être aménagés en aval d'un barrage pour rehausser le niveau de l'eau au-dessus du niveau obtenu avec le débit minimum.

3.2.2 La gestion à court terme

Description

La *demande d'électricité* fluctue sur une *base* journalière et hebdomadaire, suivant le rythme de l'activité humaine. La demande la plus faible se situe généralement tôt le matin, tard le soir et durant les week-ends, et la plus forte, les jours de semaine depuis l'heure du petit déjeuner jusqu'après le souper. Les centrales hydroélectriques sont capables de répondre presque instantanément aux variations de la demande.

L'adaptation immédiate de la production en fonction de la fluctuation de la demande est la production de pointe. Il s'agit d'augmenter ou de réduire le débit de turbinage pour produire la quantité d'électricité nécessaire, parfois dans l'espace de quelques minutes seulement. Le programme d'exploitation peut prévoir une ou plusieurs périodes de pointe dans la journée, de longueur variable, selon la demande à court terme d'électricité. Certains groupes sont programmés pour entrer en service seulement quelques heures par jour, au moment de la demande de pointe. Comme les groupes varient individuellement quant à la puissance et la souplesse d'exploitation, il s'agit de planifier quelles installations doivent intervenir et à quel moment pour répondre à la demande du réseau.

Certaines centrales sont dédiées à la production de pointe. La capacité de turbinage de ces centrales dépasse largement le débit naturel du cours d'eau. En périodes d'étiage, l'eau doit être retenue en amont durant plusieurs heures pour accumuler le volume nécessaire à l'exploitation de la centrale. Les débits en aval des centrales de pointe varient de façon proportionnelle à la puissance des groupes turbo-alternateurs. L'impact de la production de pointe sur le débit d'aval est maximal dans les cas où le débit naturel du cours d'eau permet la mise en service de tous les groupes environ 12 heures par jour. Cet impact s'atténue avec la distance en aval de la centrale.

La sécurité et la fiabilité du réseau d'électricité implique que les producteurs soient capables de répondre à la demande de pointe. La production de pointe est essentielle pour maintenir la stabilité et la continuité du réseau et pour répondre à la demande croissante des consommateurs.

Les variations à court terme du débit d'aval peuvent avoir d'autres sources que la production d'électricité, notamment la manœuvre des vannes d'évacuateurs de crues, des orifices de chasse et de vidange. Ces dispositifs sont généralement opérés à des fins de protection contre les crues, de nettoyage ou autres, qui n'ont aucun lien avec la demande d'électricité ou la fiabilité du réseau. Bien qu'il soit ici question des effets de la gestion à court terme du débit pour la production d'énergie, certains effets, de même que certaines mesures d'atténuation, peuvent aussi s'appliquer aux autres ouvrages.

Effets sur les poissons et leur habitat

Bien que des variations de débit se produisent naturellement dans les cours d'eau non aménagés, celles causées par un aménagement hydroélectrique peuvent être plus soudaines ou peuvent se produire à des moments différents de leur occurrence naturelle, et elles peuvent entraîner en peu de temps des changements importants dans les microhabitats et dans le dévalaison des poissons.

Une diminution trop importante du débit peut assécher des habitats et créer des étangs isolés. Les poissons peuvent être piégés sur des bancs de gravier dans le chenal principal, dans les eaux d'un chenal secondaire ou dans des zones déprimées du lit du cours d'eau,

où ils sont exposés à la prédation et à d'autres causes de mortalité. Certaines espèces, dont le doré jaune et le brochet, sont plus sensibles à une diminution importante du débit, car elles frayent le long des rives et dans les eaux peu profondes. L'assèchement peut également exposer les œufs au gel et à la dessiccation.

À l'inverse, une augmentation trop importante du débit peut déplacer les poissons (en particulier les œufs et les alevins) ainsi que les invertébrés aquatiques dont ils se nourrissent. Le charriage de gravier et l'érosion des berges peuvent être sources de stress physiologique chez les poissons et causer un dépôt de matériaux fins pouvant asphyxier les œufs. Un débit élevé peut inonder les zones riveraines, réduisant ainsi la végétation littorale, la stabilité des berges et la quantité de matière organique accessible.

Les variations brusques du débit peuvent avoir pour autres conséquences la perturbation de la fraie, de la migration et autres processus déclenchés par la vitesse du courant, la profondeur ou la température de l'eau.

Autres considérations

La configuration et les caractéristiques de la centrale déterminent dans une large mesure les moyens qui s'offrent à l'exploitant pour agir sur la vitesse et l'ampleur des variations de débit. La plupart des turbines ne permettent pas une modification graduelle de débit, de sorte que l'exploitant dispose de moyens limités pour effectuer une transition qui ne soit pas trop brutale. D'autres facteurs influent sur les variations de débit : modification du nombre de turbines en service dans une installation à plusieurs turbines; arrêt brusque du turbinage en raison de problèmes mécaniques ou électriques; mise en route à faible débit; et autres.

La valeur des débits de pointe, la dimension et la configuration du bief amont et des autres structures peuvent aussi limiter la capacité d'agir sur la vitesse et l'ampleur des variations de débit. Lorsqu'une centrale fonctionne en régime de pointe, une autre centrale située en aval peut être obligée de fonctionner au même régime, si la capacité d'emmagasinement de son bief amont est insuffisante. Les aménagements en cascade permettent par ailleurs d'atténuer dans une certaine mesure les augmentations de niveau provoquées par le régime de pointe. Un plan de gestion de l'ensemble des eaux du bassin versant facilite une exploitation hydroélectrique dans le respect de l'environnement et en harmonie avec les autres usages de l'eau.

Les contraintes de la pointe sur une centrale donnée dépendent des possibilités de faire intervenir d'autres installations de production du réseau.

Une variation brusque du débit peut perturber les activités en aval. Une variation qui entraînerait l'érosion ou d'autres formes de dégradation des berges aurait une incidence sur les **activités de loisirs** et sur les **ouvrages et propriétés privés** et pourrait faire courir un risque pour la **sécurité publique**. La production de pointe peut présenter une menace pour les oiseaux aquatiques et la **faune** qui font leurs nids ou fréquentent les cours d'eau et leurs abords.

Exemples de mesures d'atténuation

Une **évaluation d'impacts** s'impose pour déterminer si des mesures doivent être mises en place, sur le plan de l'exploitation ou autre, pour atténuer les impacts environnementaux de la production de pointe. Une première évaluation fondée sur les données existantes permet d'obtenir un aperçu général des effets de l'exploitation sur les poissons et les habitats aquatiques et donne un ordre de grandeur des coûts qu'entraînerait une

modification des opérations. Si nécessaire, des études plus poussées sont effectuées pour recueillir des données propres à l'installation considérée pour déterminer et évaluer les effets de l'exploitation sur les poissons et leur habitat. Ces deux ensembles de données sont alors examinés pour déterminer s'il y a lieu d'intervenir, compte tenu des incidences biologiques, de la demande locale et globale d'électricité, des exigences réglementaires, des contraintes inhérentes aux installations et du rapport avantages-coûts.

Exploitation :

S'il est décidé qu'il est raisonnable de modifier les opérations, on peut alors établir des **lignes directrices**, des **protocoles** ou des **programmes de gestion** du débit permettant de satisfaire à la demande de pointe et aux autres exigences tout en réduisant au minimum les incidences des opérations sur le milieu aquatique. L'établissement de lignes directrices peut se faire par divers moyens, notamment la consultation de spécialistes, l'application de critères de protection normalisés ou particuliers au site, l'évaluation des modifications implantées et l'ajustement en fonction des résultats. Les lignes directrices définiront le moment et l'ampleur des variations de débit les moins néfastes pour les poissons et le milieu aquatique. Les programmes de gestion du débit doivent tenir compte des répercussions de la variation du débit sur le régime d'écoulement en aval et sur les ouvrages et équipements.

Les programmes de gestion peuvent prévoir des débits de base, la modulation du rythme de changement de débit et la modification de l'horaire des opérations de pointe :

Exemples de mesures

- La société Manitoba Hydro a modélisé et suivi les variations diurnes de débit en aval de la centrale de Limestone en rapport avec la remontée des poissons dans les tributaires et les répercussions sur l'estuaire du fleuve Nelson.
- La société Ontario Power Generation limite ses opérations de pointe en hiver sur la rivière Nipigon afin de protéger les œufs de l'omble de fontaine durant l'incubation.
- Great Lakes Power Ltd. maintient un débit de base de 7,5 m³/s en tout temps de l'année et a des vitesses de variation de débit différentes selon les saisons, de sorte qu'elle a réussi à maintenir des stocks intéressants d'omble de fontaine.
- En périodes d'étiage extrême, Ontario Power Generation a exploité ses installations de la rivière Mississagi sur trois périodes séparées de la journée de manière à assurer un débit journalier de 35 m³/s pour protéger la fraie et l'incubation des œufs du saumon.
- Nova Scotia Power règle et surveille étroitement les variations de débit du réservoir Carleton dans le bassin de la Tusket durant la période critique de montaison du gaspareau, soit fin juin début juillet, pour éviter que les migrateurs soient piégés.
- Newfoundland and Labrador Hydro maintient un débit de 2,6 m³/s en été et de 1,3 m³/s en hiver en aval de la centrale de la rivière Upper Salmon afin de protéger les aires de fraie de la rivière West Salmon.

Un **débit réservé** peut être établi pour les périodes critiques comme la fraie (voir à la section 3.2.1 les mesures de gestion à long terme du débit).

La *modulation* du débit turbiné correspond à l'augmentation ou à la baisse de la production et du débit turbiné de manière à créer une variation moins brusque du débit d'aval. La vitesse d'augmentation ou de diminution est importante. En règle générale, une variation moins importante entraîne des impacts moins importants.

Les variations de débit et de niveau en aval de la centrale peuvent être atténuées par la **modification de l'horaire ou de la fréquence des périodes de production de pointe**. Comme l'effet de la production de pointe sur le débit et le niveau d'eau d'aval s'atténue avec la distance, la répartition dans la journée de plusieurs périodes de production de pointe aura un impact modéré.

Le **maintien d'un débit de base** en aval de la centrale, sujet à l'approbation des autorités, peut aussi compenser les effets des opérations de pointe. La valeur de ce débit de base correspond au débit minimum qui peut être turbiné sans danger par un groupe turbo-alternateur pour couvrir les coûts d'exploitation de l'installation et une marge minimum de profit. Souvent, ce débit est supérieur au débit d'étiage, de sorte qu'il augmente la productivité du cours d'eau durant toute l'année.

Autres mesures :

Il est possible que nous n'arrivions pas toujours à empêcher que les poissons soient piégés par la seule modification des opérations de pointe. On peut alors **modifier le chenal**, par exemple, en remodelant les bancs de sable et de gravier ou en bloquant l'accès aux chenaux latéraux. L'aménagement d'une dépression au centre du chenal peut servir de refuge aux poissons lorsque le débit est très faible.

Le **sauvetage** est une autre façon d'intervenir lorsque les poissons sont piégés. Ce moyen n'est cependant pas très employé là où il y a des fluctuations de débit. Le sauvetage est une mesure d'exception, non praticable sur une base journalière.

Des mesures comme l'**amélioration de l'habitat** et l'ensemencement d'alevins de pisciculture, peuvent aussi compenser les effets de la production de pointe. Aussi, la construction de **seuils** en aval des centrales peuvent aider à régulariser le débit et la vitesse du courant.

3.2.3 L'opération des évacuateurs de crues

Description

Les *déversements* d'eau constituent une opération normale et nécessaire au fonctionnement des centrales hydroélectriques, et tous les barrages comportent un dispositif (les évacuateurs de crues) assurant l'évacuation du surplus d'eau du réservoir, pour empêcher l'inondation de la centrale. Le volume et la fréquence des déversements dépendent de la capacité de turbinage de la centrale et du débit du cours d'eau. Les petites centrales, dont la capacité de turbinage est généralement inférieure au débit du cours d'eau, évacuent les surplus d'eau presque en permanence. Les grandes centrales, et en particulier les centrales de pointe, dont la capacité de turbinage dépasse largement le débit moyen du cours d'eau, ont rarement un excédent à évacuer.

Les exploitants cherchent à réduire le plus possible les déversements d'eau, car ils représentent une perte de production et de revenus. Cependant, il peut s'avérer nécessaire de le faire lorsque le débit du cours d'eau dépasse la capacité de turbinage de la centrale et qu'il n'y a aucune capacité d'emmagasinement disponible en amont, dans les cas de délestage (arrêt instantané d'un groupe), ou lorsque les turbines sont mises hors service pour entretien. S'il s'agit d'un manque de capacité de *stockage* en amont, les exploitants ne peuvent régler le moment, le volume et la durée du déversement. Ils peuvent dans certains cas intervenir pour diminuer progressivement le débit à la fin de l'opération.

La planification donne à l'exploitant une meilleure maîtrise sur les déversements. S'il existe une capacité d'emmagasinement et que les apports d'eau sont prévisibles, par exemple à la période de la fonte des neiges, l'exploitant peut retarder l'évacuation et en réduire le volume en prenant la précaution de vidanger le réservoir (voir la section 3.1 sur la gestion des réservoirs). Dans le cas de déversements prévus dans le programme d'entretien, l'exploitant a la maîtrise du moment, du volume, de la durée et de la cessation du déversement.

Lorsque le débit du cours d'eau est inférieur au débit minimum de fonctionnement sécuritaire de la turbine, il n'y a aucun écoulement dans l'évacuateur de crues, à moins qu'un débit réservé soit prescrit pour assurer la protection des poissons et du milieu aquatique ou pour satisfaire à d'autres impératifs. Le chenal évacuant les débits sortant par l'évacuateur de crues peut s'assécher s'il n'y a pas d'influence des eaux turbinées ou de barrage en aval, comme c'est le cas des aménagements en cascade.

La conception de l'évacuateur de crues varie considérablement d'un barrage à l'autre. Il peut être éloigné de la centrale ou situé à proximité. Si la centrale et l'évacuateur sont réunis dans le lit naturel du cours d'eau et que le chenal d'évacuation et le canal de fuite sont contigus, il est possible que les déversements n'affectent qu'une zone très restreinte immédiatement en aval de l'évacuateur. Si l'évacuateur est éloigné de la centrale, la partie du chenal d'évacuation en amont de sa confluence avec le canal de fuite peut garder des eaux stagnantes ou même s'assécher lorsque le débit du cours d'eau est inférieur à la capacité de turbinage.

La plupart des barrages ne comportent qu'un seul évacuateur de crues, mais certains en ont deux ou même plusieurs, en particulier les barrages de dérivation. L'exploitant peut alors répartir le déversement entre les évacuateurs, ce qui réduit l'impact en aval. Souvent, on trouve un évacuateur à proximité de la centrale pour une gestion précise, et un évacuateur plus important utilisé uniquement pour les forts débits (crues).

Les évacuateurs sont pour la plupart des ouvrages de surface, mais les grands réservoirs comportent des dispositifs qui peuvent évacuer des eaux plus profondes, lesquelles ont une incidence sur la qualité de l'eau en aval.

Certains types d'évacuateurs ne fonctionnent pas automatiquement et ne se commandent pas à distance; ils nécessitent une intervention humaine. Ce type d'ouvrage réduit considérablement la flexibilité dans la gestion des débits.

Effets sur les poissons et leur habitat

L'effet des déversements sur les poissons et leurs habitats peut varier considérablement selon la configuration de l'évacuateur, les espèces en présence et la nature des habitats. Le chenal d'évacuation peut ou non constituer un habitat important pour les poissons, selon sa superficie, sa pente, la fréquence des déversements, les fuites et le refoulement des eaux de la centrale. Les chenaux à forte pente qui ne reçoivent pas souvent de débits d'évacuation peuvent se trouver presque toujours secs. Les seuls poissons qui s'y trouvent sont ceux qui ont tenté de le remonter, attirés par les débits d'évacuation, ou qui y ont été entraînés avec les eaux du réservoir ou du bief amont. S'il se forme des étangs à certains endroits du chenal, les poissons peuvent y survivre longtemps, même s'ils ne peuvent s'y reproduire.

Les chenaux d'évacuation à faible pente et recevant souvent des débits d'évacuation ou subissant l'influence des débits turbinés peuvent servir d'habitat. Ils sont cependant soumis à d'importantes variations de débit et de niveau d'eau qui peuvent nuire à la productivité des espèces *résidentes*. Lorsque le débit est faible, les poissons peuvent se retrouver en grands nombres dans des étangs isolés, où ils sont exposés à une forte prédation et où la qualité de l'eau peut rapidement se détériorer. Lorsque le courant est fort, les plus petits poissons peuvent être entraînés vers l'aval. S'il y a frai dans le chenal d'évacuation et que le débit d'évacuation est interrompu, les œufs sont exposés à la dessiccation.

Les évacuations posent un problème particulier pour les espèces anadromes, en raison du fait qu'elles ont lieu surtout au printemps et à l'automne, soit les deux saisons au cours desquelles de nombreuses espèces canadiennes remontent les rivières pour frayer. Lorsque cesse le déversement, les poissons engagés dans le chenal d'évacuation peuvent voir leur voie de migration coupée, et s'ils ont frayé dans le chenal, les œufs risquent d'être exposés à la dessiccation. Ces effets ne sont pas nécessairement importants, puisque les poissons sont adaptés aux variations naturelles du régime hydrologique et que les évacuations sont généralement de courte durée. De même, les conditions en rivière, en période de déversement, ne sont peut-être pas très différentes de celles prévalant en crue printanière avant la construction du barrage.

Il arrive que des poissons d'espèces résidentes vivant dans le réservoir soient entraînés dans l'évacuateur, mais ces déplacements n'ont pas un effet déterminant sur les peuplements de poissons. Les salmonidés juvéniles qui redescendent les cours d'eau subissent un taux de blessures et de mortalité moins élevé en franchissant les barrages par les évacuateurs de crue que par les turbines, et l'augmentation des débits déversés pour faciliter le passage des poissons est pratique courante tant sur la côte est que sur la côte ouest. Les évacuateurs ne sont pas considérés comme une source importante de mortalité des poissons.

Selon la configuration de l'évacuateur et la géomorphologie du lit du chenal d'évacuation, les déversements peuvent entraîner des débris, des végétaux et des sédiments et les transporter en aval. Le transport de gravier peut être favorable aux aires de frai, mais il

peut par ailleurs causer l'érosion du chenal et, par la suite, réduire ou dégrader l'habitat en aval.

Dans les barrages où la chute est importante, les déversements peuvent altérer la qualité de l'eau en augmentant sa teneur en gaz dissous. La sursaturation *en gaz dissous* survient lorsque l'air est entraîné dans l'eau, lors du passage dans l'évacuateur, et plonge dans un bassin profond au pied de celui-ci. Les bulles d'air sont alors soumises à une pression qui provoque la dissolution de l'azote et des autres gaz dans l'eau jusqu'à des concentrations qui dépassent la saturation. Les deux conditions nécessaires à l'augmentation de la pression totale de gaz sont la présence d'air dans l'eau et la chute de cette eau dans un bassin profond. La pression exercée sur les bulles d'air entraînées dans l'eau est directement proportionnelle à la profondeur à laquelle elles se trouvent. La Colombie-Britannique, pour sa part, a établi des lignes directrices relatives à la qualité de l'eau, dont un des objectifs est de limiter la pression totale de gaz à une valeur inférieure à 110 p. 100 en eaux profondes et à 103 p. 100 à une profondeur de moins de un mètre.

La sursaturation en gaz dissous peut être cause d'embolies gazeuses, de troubles physiques, de maladies et de mortalité chez les poissons, variant selon l'espèce et l'âge. La nature et la concentration des gaz dissous dépendent en grande partie de la configuration et du mode d'exploitation de l'ouvrage.

Dépendant de la couche où elles sont prélevées, les eaux évacuées peuvent modifier la température des eaux d'aval de façon sensible pour les poissons. La différence de température entre les eaux évacuées et les eaux en aval du barrage peut être considérable. Elle est généralement plus grande lorsque les eaux évacuées proviennent du fond de grands réservoirs ou biefs amont stratifiés.

Autres considérations

La **configuration de l'évacuateur** détermine en partie la possibilité de régler les débits déversés. Les vannes peuvent être à commande manuelle ou automatique, ou à commande sur place ou à distance. L'évacuateur peut comporter plusieurs vannes permettant un réglage précis du déversement, ou quelques grosses vannes seulement. Les vannes peuvent être à ouverture progressive ou à deux positions, ouvertes ou fermées.

Les seuils déversants laissent passer l'eau librement par-dessus leur crête et ne nécessitent aucune intervention humaine. Certains réservoirs sont munis d'une digue fusible qui est emportée lors d'une crue exceptionnelle et qui protège alors le barrage contre le surplus d'eau. Évidemment, ces types d'évacuateurs ne permettent pas le contrôle du débit déversé.

La dimension et la capacité d'emménagement du réservoir et des autres ouvrages déterminent dans une large mesure la possibilité de contrôler les déversements. L'emplacement et la configuration du chenal d'évacuation peuvent avoir un impact important sur les poissons et leurs habitats. S'il est situé à distance du chenal d'origine, il est plus sujet à l'érosion. L'évacuateur peut être conçu de manière à dissiper l'énergie de l'eau et réduire son pouvoir d'érosion (par ex., évacuateurs en saut de ski, à déflecteurs, etc.)

Les déversements peuvent avoir des conséquences pour la **sécurité publique** et il est impératif qu'un système de communication avec les usagers en aval soit mis en place. Les variations rapides de courant peuvent être dangereuses pour ceux qui pratiquent la navigation de plaisance ou la descente en canot ou en kayak. En hiver, les déversements peuvent conditionner la formation du couvert de glace ou compromettre sa stabilité ou son uniformité, ce qui peut présenter un danger pour le public, nuire au **transport** ou causer l'obstruction du *canal de fuite*.

En l'absence d'une protection adéquate, les déversements peuvent causer l'érosion et autres dégradations des rives des chenaux d'évacuation, qui peuvent se répercuter sur les **propriétés privées** et compromettre l'intégrité des ouvrages riverains. L'abaissement ou la remontée brusques du niveau de l'eau peuvent compromettre l'intégrité et l'usage des quais, des rampes de mise à l'eau et des prises d'eau.

Exemples de mesures d'atténuation

Exploitation :

Si le chenal d'évacuation sert d'habitat aux poissons, on pourra y maintenir un **débit réservé** en dehors des périodes de déversement (voir la section 3.2.1). Cette mesure peut

s'avérer difficile à mettre en place aux aménagements existants. Aussi, le maintien d'un débit minimum peut être limité aux périodes critiques du cycle vital (migration, frai, incubation des oeufs) des espèces à grande valeur économique.

Exemples de mesures

- Le suivi exercé par BC Hydro au barrage Hugh-Keenleyside a permis de planifier les déversements par les vannes de surface et les dispositifs de fond de manière à réduire au minimum la sursaturation en gaz dissous.
- Une étude sur la fraie du doré jaune menée par Manitoba Hydro à Grand Rapids a mené à l'amélioration de l'habitat de cette espèce dans le chenal d'évacuation et à la gestion des débits déversés durant la période de fraie.
- Ontario Power Generation contrôle les déversements dans le chenal d'évacuation nord de la centrale de Calabogie durant le frai et l'incubation des oeufs du doré jaune.
- Nova Scotia Power contrôle les débits déversés en aval du barrage Vaughan à Tusket Lake durant la migration printanière du gaspareau et du saumon.
- Durant le remplissage de certains réservoirs, Hydro-Québec assure des débits minimums pour assurer la montaison et le frai du doré jaune.

Une **tranche de la réserve utile** peut être **prévue** pour emmagasiner les apports importants en périodes de fonte des neiges et des glaces ou de pluies abondantes, afin de réduire la fréquence de retour des niveaux donnant lieu à des déversements. Très souvent, cette mesure réduit les volumes déversés à une valeur inférieure aux apports d'eau dans le réservoir. Par ailleurs, elle peut représenter pour l'exploitant une perte potentielle de revenus, si cette tranche n'est pas disponible en périodes de *basses eaux* et de demande élevée d'énergie.

La **planification des déversements** (déversements préventifs de faibles volumes, abaissement préventif du niveau du réservoir, déversements progressifs) offre une plus grande maîtrise sur les moments où les déversements ont lieu et les débits

évacués. Elle facilite ainsi le maintien de conditions favorables aux poissons et permet d'atténuer les effets des déversements sur la fraie et la migration des différentes espèces.

Le **déversement progressif** (voir la section 3.2.2) pour éviter les variations brutales en périodes critiques de leur cycle de vie peut exercer une action favorable sur les populations de poissons. Ainsi, une diminution progressive des débits déversés permet aux poissons de se retirer des zones où les eaux baissent et diminue le risque qu'ils se trouvent emprisonnés dans des étangs isolés.

Les **déversements contrôlés** d'un réservoir ou d'un bief amont stratifié permettent d'agir sur la qualité et la température de l'eau d'aval. Il s'agit de déverser simultanément des eaux provenant de différentes profondeurs du réservoir ou du bief amont.

Dans certaines installations, il est possible de réduire la sursaturation en gaz de l'eau en **agissant judicieusement sur les différents exutoires (par ex., prises submergées), évacuateurs et pertuis**, de manière à réduire le plus possible l'*entraînement* d'air et la chute de l'eau évacuée. Il peut y avoir à cet égard un compromis à faire entre usure des équipements (par ex., par cavitation) et érosion ou autres formes de dégradation des structures.

Autres mesures :

L'**enlèvement des souches et des corps flottants ou immergés** au moyen d'estacades et autres dispositifs d'interception réduit la quantité de débris, de matière végétale et de sédiments qui peuvent affecter la qualité de l'eau et de l'habitat en aval.

La **stabilisation des berges** par la mise en place d'un perré, l'ensemencement, l'entretien de la végétation ou autres mesures peut réduire l'érosion et l'accumulation de sédiments. Ces mesures sont importantes surtout dans le voisinage immédiat de l'évacuateur.

Les interventions de **sauvetage** des poissons captifs en aval des ouvrages d'évacuation peuvent devenir nécessaires si les mesures de gestion des déversements s'avèrent inefficaces.

La **restauration de l'habitat** (par ex., remplacement du gravier) ou l'**aménagement de nouveaux habitats** (par ex., en dehors du chenal principal) est à envisager dans les cas où des aires de frai ont été détruites ou altérées. Les chenaux d'évacuation en particulier offrent la possibilité de créer un habitat où les conditions et le régime hydraulique peuvent être contrôlés pour attirer une espèce en particulier à un temps précis de l'année.

Dans les cas où l'évacuateur est contigu à la centrale, il peut être souhaitable d'améliorer l'habitat dans le bief aval de la centrale afin d'y attirer les poissons pour qu'ils ne cherchent pas à se diriger vers l'évacuateur. La production d'hydroélectricité ayant priorité pour l'utilisation de l'eau, il s'ensuit que le débit de la centrale est généralement beaucoup plus régulier que celui de l'évacuateur.

Si la restauration de l'habitat n'est pas possible ou n'est pas utile, on pourra avoir recours à l'**ensemencement** pour soutenir les populations affectées.

3.2.4 Le fonctionnement en compensateur synchrone

Description

Le fonctionnement d'un groupe en compensateur synchrone sert à la régulation de la tension dans le réseau de transport. Ce réglage permet également de remettre le groupe rapidement en mode de production, ce qui a l'avantage de réduire l'usure de la turbine et les délais de réaction à la demande. Certains groupes seulement sont mis en mode de compensation synchrone et ce, uniquement lorsqu'il faut assurer la stabilité de la tension dans le réseau. Cette fonction peut être assurée par des installations thermiques, le cas échéant, mais dans les réseaux comportant surtout des centrales hydroélectriques, elle est assurée par des groupes hydrauliques.

Pour le fonctionnement en compensateur synchrone, les aubes directrices de la turbine sont fermées pour empêcher l'eau de la traverser. Dans la plupart des cas, de l'air sous pression est injectée dans la turbine pour chasser l'eau résiduelle. La turbine continue de tourner à vide et agit ainsi comme un moteur qui règle la tension en fournissant ou en absorbant de l'énergie, selon les besoins du réseau.

Les aubes *directrices* n'étant pas toujours parfaitement étanches, il continue de s'écouler une certaine quantité d'eau dans la turbine. En raison des différences de pression entre la conduite forcée, la *bâche spirale*, la turbine et l'*aspirateur*, cette eau, exposée à de l'air sous forte pression, peut devenir sursaturée en azote et en oxygène dissous. Au moment où elle parvient au *canal de fuite*, sa teneur en gaz dissous peut dépasser les 110 p. 100. Le niveau de sursaturation varie généralement en fonction de la pression qui règne dans la bâche spirale et de la durée de mise en contact de l'eau et de l'air.

Effets sur les poissons et leur habitat

La teneur en oxygène de l'eau qui parvient au canal de fuite est étroitement liée au mode d'exploitation de la centrale. Dans un grand nombre de centrales, certains groupes fonctionnent en mode de production pendant que d'autres fonctionnent en compensateurs synchrones. La quantité d'eau qui continue de traverser les turbines fonctionnant en compensateurs synchrones est très faible comparée à la quantité d'eau turbinée par les groupes de production. Donc, cette dernière dilue les eaux à teneur élevée en gaz dissous suffisamment pour les rendre inoffensives. Toutefois, si des groupes doivent fonctionner en compensateurs synchrones sans qu'il y ait turbinage de production, la dilution peut s'obtenir par des chasses périodiques du canal de fuite.

Il a été démontré que la *sursaturation de l'eau en gaz dissous* (SGD) a des effets physiologiques néfastes sur les poissons et les invertébrés. Une teneur en gaz dissous de l'ordre de 110 p. 100 et plus peut causer des *embolies gazeuses* chez les poissons. Il se forme alors des bulles gazeuses dans le sang ou les tissus, qui perturbent les fonctions neurologiques, cardiovasculaires, respiratoires, osmorégulatrices et autres fonctions vitales. Une exposition de trop longue durée ou à des teneurs trop élevées peut être mortelle.

Les embolies gazeuses peuvent aussi être cause indirecte de mortalité chez les poissons. Elles affaiblissent leur organisme, en particulier chez les juvéniles, les rendant moins aptes à échapper aux prédateurs et plus sensibles aux infections bactériennes, virales et fongiques.

On connaît beaucoup moins les effets de la SGD en milieu naturel qu'en laboratoire. Les poissons nageant librement peuvent échapper aux eaux sursaturées en gaz dissous en descendant dans les eaux plus profondes, où la pression exerce une action compensatrice. Des études récentes effectuées par BC Hydro ont cependant révélé qu'une teneur élevée en gaz dissous n'empêche pas toujours la truite arc-en-ciel adulte de monter se nourrir à la surface.

Les juvéniles qui se nourrissent dans les eaux peu profondes sont susceptibles d'être plus affectés par la SGD et plus vulnérables à la prédation. Les salmonidés anadromes sont exposés à des concentrations variables, et des études concertées sont en cours pour déterminer l'incidence globale de la SGD sur ces espèces.

Autres considérations

La production d'eau sursaturée en gaz dissous associée au fonctionnement en compensateur synchrone est attribuable au manque d'étanchéité des aubes directrices et à certaines **caractéristiques des turbines**. La teneur en gaz dissous des eaux restituées dépend du nombre de turbines fonctionnant en compensateur synchrone, de la durée de ce mode de fonctionnement et de la quantité d'eau turbinée pour la production d'électricité et servant à diluer les eaux saturées.

La **température de l'eau** a aussi une incidence directe sur le degré de saturation en gaz de l'eau, car le niveau de saturation du gaz dans l'eau est déterminé par la température. Il est possible qu'une température élevée et une teneur élevée en gaz dissous aient par ailleurs une action synergique sur les organismes aquatiques.

Exemples de mesures d'atténuation

Exploitation :

On peut restituer périodiquement des *débites de chasse* pour diluer les eaux sursaturées en gaz dissous, afin de protéger les poissons présents dans les eaux du bief d'aval ou des collecteurs contre les effets de la SGD. La fréquence de cette manœuvre sera décidée en fonction du degré de saturation en gaz dissous des eaux et de la saison (présence ou non de poissons migrateurs dans le bief d'aval ou les collecteurs).

Exemple de mesure

- BC Hydro, après avoir mesuré les teneurs en gaz dissous des eaux du barrage Mica, a modifié le programme d'exploitation de la centrale de manière à interrompre périodiquement le fonctionnement en compensateur synchrone pour permettre de diluer, par un débit de chasse, les eaux sursaturées en gaz dissous dans le canal de fuite et de réduire leur impact négatif sur les poissons.

Autres mesures :

Le **suivi** de la teneur en gaz dissous sous diverses conditions d'exploitation permet d'établir un programme d'exploitation visant à atténuer cette nuisance.

Malgré la grande difficulté qu'elles présentent, des **études in situ** ont été entreprises pour déterminer les effets sur les poissons de teneurs élevées en gaz dissous dans les cours d'eau. Les études en laboratoire se poursuivent pour mieux comprendre les effets de la SGD de l'eau sur les organismes aquatiques.

3.3 LES BARRAGES ET LES DÉPLACEMENTS DES POISSONS

Les aménagements hydroélectriques canadiens datent de plusieurs décennies, et ils reflètent les choix et la réglementation de l'époque. Lorsqu'il est possible d'améliorer la libre circulation des poissons au niveau des centrales et des barrages existants, les exploitants travaillent de concert avec les organismes de réglementation pour rechercher les meilleures options. Ce document montre l'engagement des producteurs d'hydroélectricité envers une saine gestion de leurs activités et de l'environnement.

3.3.1 Espèces migratrices

Description

Les barrages bloquent la circulation des poissons vers l'amont et vers l'aval. Les conséquences sont particulièrement graves lorsque des espèces migratrices, comme le saumon, se trouvent coupées de leurs aires de reproduction. Des stocks entiers peuvent disparaître, ou leur productivité peut être grandement diminuée. Les exploitants peuvent parfois aménager des passes migratoires ou mettre d'autres moyens en œuvre pour permettre le franchissement d'un barrage.

Dans le cas des nouveaux projets d'aménagements hydroélectriques, les exigences concernant le rétablissement de la libre circulation des poissons sont connues au moment de l'octroi du permis et de la construction. L'exploitant peut alors intégrer les dispositions exigées dans la conception de la centrale.

L'ajout d'une passe à poissons à un ouvrage existant peut être difficile, coûteux, voire impossible. Comme ces ouvrages doivent être conçus spécifiquement pour l'espèce et le site considérés, la configuration d'un aménagement hydroélectrique existant peut ne pas se prêter à la mise en place d'une passe efficace; par exemple, une centrale implantée dans un site formant un obstacle naturel (par ex., des chutes), ou faisant partie d'un aménagement de dérivation, où le dispositif de franchissement risque de détourner les poissons vers un autre bassin versant. Dans ce cas, les exploitants peuvent, pour compenser la perte ou l'inaccessibilité d'aires de fraie, se tourner vers l'amélioration des habitats accessibles, la reproduction en pisciculture et l'aménagement de chenaux de fraie.

La nécessité et la faisabilité d'un ouvrage de franchissement au niveau des aménagements hydroélectriques existants sont déterminées au cas par cas. Les décisions à cet égard prennent en considération les pratiques antérieures, les ententes en vigueur, la perception sociale de la valeur de l'espèce, l'importance économique et culturelle de la pêche, la présence ou l'absence d'habitats importants à proximité, la qualité de l'eau, les risques pour les populations de poissons et les exigences associées aux autres usages de l'eau. En règle générale, on construit des ouvrages de franchissement plutôt dans les régions côtières ou de grands lacs, où vivent des populations importantes d'espèces migratrices de grande valeur.

Les dispositifs de franchissement peuvent être à caractère actif ou passif et peuvent opérer de façon attractive ou répulsive. On emploie normalement des moyens différents pour le passage vers l'amont et le passage vers l'aval. Les premiers sont généralement destinés aux poissons adultes d'espèces migratrices, mais peuvent aussi viser les jeunes anguilles (civelles ou anguillettes). Les deuxièmes visent les juvéniles et les adultes ayant frayé de ces mêmes espèces.

Effets sur les poissons et leur habitat

Les barrages hydroélectriques peuvent couper l'accès à des aires de reproduction et de croissance critiques pour des espèces migratrices. Les poissons migrateurs retournent d'instinct à leur lieu de naissance pour la reproduction, et un barrage peut perturber ce sens inné. Si la migration est empêchée ou trop retardée, la fraie peut être réduite, ou ne pas avoir lieu, et les conséquences à long terme pour les populations sont évidentes. Les passes migratoires sont aménagées essentiellement pour des espèces migratrices vivant dans les eaux côtières, notamment le saumon kéta, le saumon rouge, le saumon atlantique, la truite de mer, l'aloise d'été, le gaspareau, l'anguille et l'aloise savoureuse.

La dévalaison, ou migration vers l'aval, est importante pour les stades juvéniles et les adultes d'espèces anadromes ayant frayé et pour les anguilles adultes. En l'absence de dispositifs appropriés pour faciliter la dévalaison, ces poissons sont entraînés dans les prises d'eau des turbines ou dans les évacuateurs de crues, et ce transit peut être cause de blessures et de mortalité sous l'effet de chocs mécaniques, de la cavitation, du cisaillement hydraulique ou des différences importantes de pression. Les poissons qui réussissent à franchir le barrage peuvent être affectés par la qualité de l'eau à l'aval, en particulier la turbidité et la sursaturation en gaz dissous, et devenir plus vulnérables à la prédation par les oiseaux, poissons et autres.

Les choix en matière d'ouvrages de franchissement doivent prendre en compte plusieurs facteurs propres à l'espèce ou à la population considérée :

- espèce migratrice ou résidente
- interactions interspécifiques
- stade de vie
- aptitude à la nage et au saut
- accès à un habitat critique
- valeur socioéconomique de l'espèce.

Autres considérations

Les autres facteurs à prendre en compte dans la décision d'aménager ou non des ouvrages de franchissement pour les poissons aux installations hydroélectriques existantes comprennent l'âge de l'installation, ses **caractéristiques** et sa **configuration**. Les réservoirs et les biefs amont, en particulier dans les aménagements moins importants, peuvent avoir modifié l'habitat en amont du barrage de façon considérable (par ex., transformation d'un habitat lotique en habitat lacustre). Si le cours d'eau a été aménagé en cascade, avec plusieurs barrages et plusieurs bassins, les effets cumulatifs sur l'habitat peuvent rendre inutile la montaison des poissons.

Divers facteurs peuvent influencer sur la faisabilité d'une passe migratoire : **contraintes physiques** (par ex., hauteur du barrage, manque d'espace pour quelque nouvelle installation que ce soit), **débit disponible** (il faut une certaine quantité d'eau pour exploiter la passe et attirer les poissons à l'entrée), **activités de loisirs** pratiquées dans ces eaux, et autres.

La faisabilité ou la conception des dispositifs de dévalaison peuvent être déterminées par des **contraintes physiques** (par ex., la conception de l'aménagement hydroélectrique), la **quantité de débris**, les débits saisonniers disponibles, la **sécurité publique** et les **caractéristiques des turbines** (dimension des aubes, espacement inter-aubes, vitesse de rotation, cavitation).

En règle générale, aux ouvrages existants, les choix peuvent aussi être dictés par les **ententes** ou les **approbations** en vigueur, les impératifs de la **protection contre les crues**, les activités récréatives et les **autres obligations de l'exploitant**.

Exemples de mesures d'atténuation

Bien que la plupart des barrages n'en aient pas été dotés à l'origine, plusieurs dispositifs de franchissement pour les poissons ont depuis été développés. Leur faisabilité et leur efficacité étant largement déterminées par l'emplacement et la configuration du barrage et la présence d'une espèce migratrice de valeur, elles doivent être évaluées au cas par cas. Parmi les dispositifs décrits ci-dessous, certains ont été mis en place à des centrales hydroélectriques au Canada.

Mesures d'atténuation (montaison) :

Les **passes migratoires** ou *passes à poissons* réduisent la pente et la vitesse de l'eau de façon à permettre aux poissons de franchir le barrage par bassins successifs. Elles comportent une entrée, la passe proprement dite (formée d'une succession de seuils et de bassins), un exutoire et un débit d'attraction supplémentaire, souvent employé pour créer un débit d'attrait. On en trouve plusieurs modèles en Amérique du Nord.

Exemples de mesures

- Hydro-Québec a mis en place une échelle à anguilles au barrage de Chambly, les stocks de cette espèce de valeur ayant connu une baisse dramatique depuis le début des années 1980.
- Un ouvrage de franchissement pour les poissons installé par Énergie Nouveau-Brunswick à la centrale Mactaquac a permis de mesurer l'efficacité du transit à deux autres centrales, dont le mode d'exploitation a été modifié en conséquence.
- Nova Scotia Power a placé une barrière de guidage à 4 des 5 centrales implantées sur la rivière Black pour détourner les gaspareaux juvéniles descendant vers la mer.
- BC Hydro a installé au barrage Puntledge des grilles à poissons de la plus récente technologie, de sorte qu'aujourd'hui, 99 % des saumons et des truites arc-en-ciel juvéniles descendant vers la mer réussissent à franchir le barrage.

- Les passes à seuils déversants sont les plus simples; elles conviennent surtout aux cours d'eau qui subissent de très faibles variations de niveau (par ex., les cours d'eau régularisés par des réservoirs ou de barrages relativement importants).
- Les passes de type Ice Harbour sont semblables aux précédentes, sauf pour le nombre et la disposition des cloisons.
- Les passes à fentes verticales et les passes à ralentisseurs (Denil) conviennent respectivement aux cours d'eau subissant d'importantes variations de niveau et aux fortes pentes.
- Les passes à anguilles sont des passes à forte pente conçues spécialement pour faciliter la montée des anguilles juvéniles au niveau de quelques centrales hydroélectriques au Québec et en Ontario.

Les **écluses** et les *ascenseurs à poissons* comportent un bassin où les poissons sont attirés ou rassemblés, qu'un dispositif mécanique permet d'élever jusqu'au sommet du barrage, où ils sont relâchés. Ils nécessitent un dispositif de capture des poissons près du canal de fuite, comportant une entrée, un piège et un dispositif pour pousser les poissons vers un

bassin rempli d'eau. Les poissons sont ensuite montés jusqu'au niveau du bief d'amont où ils sont relâchés. Ils peuvent aussi être transportés par camion directement en amont immédiat du barrage ou plus loin en amont.

On peut augmenter l'efficacité des passes à poissons en faisant usage de **barrières** pour éloigner les poissons de certains endroits et les attirer vers d'autres. Divers types de barrières physiques et comportementales existent à cette fin, notamment les grilles, les persiennes, les barrières de guidage, les lumières stroboscopiques, les dispositifs sonores et les barrières électriques.

Exploitation (amélioration de la dévalaison) :

L'**exploitation des turbines** au niveau maximum d'efficacité peut réduire les blessures et la mortalité chez les poissons qui y sont entraînés. Dans les turbines hydrauliques de conception récente, l'espacement entre les aubes de roue et les directrices est augmenté et la différence de pression réduite, de sorte que le transit des poissons s'opère avec une efficacité de 85 p. 100 et plus. Dans certains cas, la roue peut être remplacée pour obtenir un meilleur rendement énergétique et un passage moins dommageable pour le poisson.

À certains endroits, les exploitants de centrales déversent de l'eau ou opèrent les turbines à un débit donné dans le but particulier de forcer le déplacement des poissons à travers ou autour des installations. Par exemple, à la centrale Mactaquac aménagée sur la rivière Saint-Jean au Nouveau-Brunswick, laquelle comporte six groupes turbo-alternateurs, on a constaté que lors de leur dévalaison, les poissons avaient tendance à se concentrer dans une zone précise du bief d'amont sur l'une des rives. Lorsque cela se produit, les exploitants font fonctionner les turbines, si cela est possible, en régime optimal afin de faciliter la descente des poissons. Parfois, l'arrêt des groupes pour fins d'entretien peut être prévu pour coïncider avec la période de pointe de migration.

Mesures d'atténuation (dévalaison) :

Des **barrières comportementales** ont été étudiées, et certaines ont même été mises en service, pour modifier ou tirer parti de comportements naturels des poissons afin de les attirer ou de les repousser. L'avantage potentiel des barrières comportementales est leur coût relativement peu élevé. Ces barrières impliquent toute une panoplie de stimuli : lumières stroboscopiques, lampes à vapeur de mercure, rideaux de bulles d'air, sons de basse fréquence, infrasons, barrières électriques, jets d'eau, barrières de cordes ou de chaînes, produits chimiques, stimuli visuels ou diverses combinaisons de ces moyens (par ex., sons pour les éloigner d'une zone donnée et lumière pour les attirer vers une zone voisine). L'expérience montre que l'efficacité de ce type de dispositifs varie dans une large mesure selon les espèces, les stades de développement et le site.

Des **barrières physiques** peuvent être installées en complément des barrières comportementales lorsque l'efficacité de ces dernières est incertaine, ou lorsque leur implantation est impossible. Il existe divers types de barrières physiques : grilles d'entrée de prises d'eau, digues filtrantes, grilles rotatives, filets, grilles à barreaux, grilles déflectrices fixes ou mobiles, et autres. Aux sites où une passe (échelle, écluse, ascenseur) a été installée, les grilles peuvent être utiles pour empêcher l'entraînement des poissons dans les prises d'eau des turbines et les évacuateurs. Les grilles mobiles conviennent aux aménagements hydroélectriques importants, où les débits sont plus forts, alors que les aménagements de moindre puissance peuvent être dotés de grilles fixes.

Les grilles mobiles de type classique ont été perfectionnées pour augmenter le taux de survie. Parfois, elles sont munies d'un genre de godet et font office de **dispositif de**

collecte. Les poissons sont ensuite relâchés dans un endroit sûr. La collecte peut aussi se faire au moyen d'une pompe à poissons.

Le système de guidage est l'élément le plus important de tout aménagement mis en place pour permettre la dévalaison. Des efforts considérables ont été consacrés dans les dernières années à l'étude de dispositifs qui soient efficaces dans différentes conditions d'application et résistants aux pressions engendrées par les débris. En voici quelques-uns qu'on retrouve dans certaines installations :

- les **tamis rotatifs à angle**; plus courants dans le passé, ils sont aujourd'hui remplacés par des écrans à panneaux.
- les dispositifs verticaux : **persiennes** (série de lames verticales uniformément espacées, placées en travers d'un cours d'eau à un angle déterminé par rapport à la direction de l'écoulement pour guider les poissons vers un exutoire) et **écrans à angle** (conditions : *écoulement* relativement *uniforme*, vitesse d'approche à peu près constante et vitesse de filtration faible);
- les dispositifs horizontaux : **grilles inclinées** (dirigeant les poissons vers le haut de la colonne d'eau), **grilles déflectrices Eicher** [variante améliorée des grilles inclinées, convenant aux vitesses de courant importants (3 m³/s)], **grilles inclinées modulaires** [une entrée comportant des grilles à débris, des poutrelles, une grille à faible pente (10 à 20 degrés) par rapport à l'écoulement et un exutoire guidant les poissons vers une conduite], et les **grilles NU-Alden** (entrée profilée et fond incliné pour éviter les gradients de vitesse intenses).
- les **grilles rotatives immergées** utilisées pour les hauteurs de chute importantes.

3.3.2 Espèces résidentes

Description

La grande majorité des barrages hydroélectriques au Canada ne sont pas pourvus d'ouvrages de franchissement pour les poissons. Surtout dans les régions continentales, où les eaux sont peuplées d'espèces résidentes (par ex., l'achigan à petite bouche, le doré jaune, l'omble de fontaine, l'esturgeon jaune, le brochet et la perchaude) qui peuvent y vivre et se reproduire sans entreprendre de longues migrations. Les exploitants peuvent toutefois être appelés à envisager l'aménagement d'un tel ouvrage dans les cas où l'entraînement accidentel des poissons à travers un barrage ou une centrale ou la fragmentation de l'habitat menacent la productivité des populations. Il s'agit alors d'empêcher leur entraînement plutôt que de les capturer et les transporter à l'aval.

Effets sur les poissons et leur habitat

Le problème de l'entraînement accidentel de poissons se pose probablement à tous les barrages et les centrales. Il se produit lorsque des poissons du réservoir s'approchent de la prise d'eau ou de l'évacuateur et sont entraînés dans le courant. La capacité de résister à l'entraînement dépend de la taille du poisson et de sa capacité de nage. Les grilles placées à l'entrée des prises d'eau pour arrêter les débris peuvent arrêter les individus de grande taille, mais ceux-ci risquent de demeurer plaqués contre la grille. Les poissons de moins grande taille qui sont entraînés sont plus à risque. Le taux de mortalité associé au transit des poissons par les turbines ou l'évacuateur dépend de l'espèce, de la taille du poisson (plus le poisson est petit, plus il a de chances de traverser indemne) et des causes de mortalité.

Le nombre de poissons entraînés peut être très faible dans les centrales les plus anciennes, où au fil des ans, le problème a fini par éliminer les populations vivant dans le voisinage de la prise d'eau ou de l'évacuateur. D'autres centrales continuent d'accuser un taux d'entraînement élevé des dizaines d'années après leur construction, en raison du fait que la densité des populations dans le réservoir donne lieu à une dispersion vers l'aval d'une partie des effectifs.

Le bilan net du problème chronique d'entraînement accidentel de poissons est le transfert à l'aval d'une partie des effectifs des populations d'amont, accompagné d'un certain taux de mortalité durant le transit. Si la compétition intraspécifique dans les populations d'aval est élevée, on ne verra probablement aucune augmentation de productivité des ressources. Cependant, l'entraînement peut parfois expliquer en partie le rendement de pêche élevé qu'on observe souvent en aval des barrages. Même s'il n'apporte aucune augmentation nette de la productivité des populations d'aval, l'entraînement provoque néanmoins un transfert de matériel génétique entre les populations d'amont et les populations d'aval (populations semi-isolées).

Dans le cas des barrages de dérivation où il n'y a pas de débit réservé, les poissons entraînés risquent de se trouver piégés.

L'impact de l'entraînement accidentel sur les populations d'amont n'est pas bien connu. Il n'existe aucun cas connu au Canada où une population d'une espèce sédentaire vivant dans les eaux d'amont d'un barrage a été éliminée par entraînement. Cela s'explique peut-être par une collecte insuffisante ou inexistante de données environnementales avant la construction des centrales. En théorie, il est possible que l'entraînement accidentel soit à l'origine d'une diminution de la productivité des ressources halieutiques d'amont, mais on ne peut l'affirmer avec certitude même pour les grands réservoirs où il y a eu recensement des populations.

La fragmentation de l'habitat est sa division en fragments de plus en plus petits, jusqu'au point où les fragments deviennent trop petits pour assurer la survie d'une espèce ou d'une population. Un certain nombre de rivières au Canada sont fragmentées par des accidents naturels du terrain, comme des chutes ou des rapides, en particulier dans le Bouclier canadien et dans les régions montagneuses. Ces sites sont souvent choisis comme emplacement de centrales hydroélectriques. Les eaux de ces rivières sont peuplées par des espèces de poissons qui peuvent compléter leur cycle vital dans une même section de rivière. Entre ces populations semi-isolées, il peut y avoir transfert d'individus et de matériel génétique de l'amont à l'aval, mais non de l'aval à l'amont.

La construction de plusieurs barrages dans un cours d'eau peut accentuer considérablement la fragmentation de l'habitat et avoir des incidences négatives sur certaines espèces. Ces incidences sont particulièrement importantes dans le cas d'aménagements en cascade, qui transforment une grande partie du cours d'eau en une suite de barrages et de bassins, ne laissant comme habitat lotique que les canaux de fuite des centrales et des évacuateurs. Les espèces lotiques risquent alors d'être plus touchées.

Il peut y avoir des cas où la séparation des espèces maintenue par les barrages est souhaitable. Par exemple, il est souhaitable d'empêcher la lamproie marine de remonter les affluents des Grands Lacs, de tenir les poissons d'élevage à l'écart des espèces indigènes, ou de séparer les espèces introduites (par ex., l'achigan) des espèces indigènes (par ex., la truite).

Autres considérations

Les autres facteurs à prendre en compte sont essentiellement les mêmes que ceux présentés au sujet des espèces migratrices. La faisabilité ou la conception des dispositifs visant à empêcher l'entraînement des poissons peuvent être déterminées par des contraintes physiques (par ex., la conception de l'aménagement hydroélectrique), la **quantité de débris**, les débits saisonniers disponibles et la **sécurité publique**. Les **caractéristiques des turbines** (dimensions des aubes, espacement inter-aubes, vitesse de rotation, cavitation) et le débit de turbinage ont une incidence sur le taux de survie des poissons entraînés.

Exemples de mesures d'atténuation

L'**opération des turbines** dans la zone de rendement optimal peut réduire les blessures et la mortalité chez les poissons entraînés. Dans les turbines hydrauliques de conception récente, le dégagement entre les aubes de roue et les directrices est augmenté et la différence de pression réduite, de sorte que le transit des poissons s'opère avec une efficacité de 85 p. 100 et plus. En règle générale, il n'est pas possible de remplacer les turbines de centrales existantes par des turbines moins dommageables pour les poissons, à moins de transformer la centrale complètement. Cependant, la roue des turbines peut dans certains cas être remplacée pour obtenir un meilleur rendement énergétique et favoriser le transit des poissons.

Exemples de mesures :

- Tous les printemps, OPG déverse le surplus d'eau du réservoir Little Long dans le bas de la rivière Matagami. Lorsque la manœuvre est terminée et que les vannes sont refermées, les esturgeons jaunes adultes qui ont été entraînés et se trouvent piégés en aval de l'ouvrage de contrôle sont capturés et retournés dans le réservoir. Des études ont été entreprises pour mettre au point des dispositifs de répulsion pouvant éloigner les esturgeons de l'évacuateur lors des déversements.
- Manitoba Hydro mène une étude sur un prototype de passe à poissons visant à mesurer la capacité de nage du doré jaune, de l'achigan à petite bouche et d'autres espèces indigènes.

Si l'entraînement est un problème important, les prises d'eau et les évacuateurs peuvent être munis de **barrières physiques et comportementales**. Se reporter à ce sujet à la section précédente sur les espèces migratrices.

Il n'existe aucun cas au Canada où une passe migratoire a été mise en place pour tenter de solutionner un problème de fragmentation de l'habitat

3.4 LES CENTRALES À RÉSERVE POMPÉE

Description

On trouve une seule centrale hydroélectrique à réserve pompée au Canada, soit la centrale Sir Adam Beck, d'une puissance de 174 MW, exploitée par Ontario Power Generation près de Niagara Falls.

Ailleurs dans le monde, les centrales hydroélectriques à réserve pompée sont généralement exploitées en complément d'une centrale thermique. L'intérêt de toute centrale de ce type est de pouvoir acheter à bon prix l'énergie inutilisée aux heures de faible demande qui continue d'être produite par les centrales de base (par ex., les centrales Sir Adam Beck 1 et 2 sur la rivière Niagara), et d'utiliser cette énergie pour pomper l'eau dans le réservoir qui les alimente. Le pompage s'étale généralement sur sept jours, pour permettre la production aux heures de pointe, qui elles s'étalent sur cinq jours. La principale raison qui explique cette différence de cycle est que l'efficacité de pompage est inférieure à l'efficacité de production, de sorte qu'il faut plus de temps pour remonter une quantité d'eau donnée que pour la turbiner.

Effet sur les poissons et leur habitat

Le principal risque pour les poissons aux centrales à accumulation par pompage est celui d'être entraînés dans les pompes lors de la remontée de l'eau d'aval au réservoir d'alimentation de la centrale.

Autres considérations

Des avis aux navigateurs doivent être émis pour éviter que des bateaux ou des embarcations ne viennent se prendre dans les filets ou les grilles destinés à empêcher l'aspiration des poissons dans les pompes.

Si l'aménagement n'est pas exploité en circuit fermé, il faut prendre des mesures pour empêcher le **transfert d'espèces**. Il faut éviter notamment la dispersion d'espèces indésirables, comme la moule zébrée et la lamproie marine.

Exemples de mesures d'atténuation

Les mesures à prendre pour atténuer l'impact sur les poissons et leur habitat de l'exploitation d'une centrale à réserve pompée sont les mêmes que pour la dévalaison (section 3.3, Les barrages et les déplacements des poissons).

3.5 L'ENTRETIEN

3.5.1 L'entretien courant

Toute installation industrielle fait l'objet d'un entretien périodique, et les installations hydroélectriques n'échappent pas à la règle. Les modalités d'exécution de ces travaux varient en fonction de plusieurs facteurs, dont la santé et la sécurité des employés et du public, le cycle des variations de la demande et des exigences d'exploitation, les matériaux et les méthodes d'entretien choisis et le site ou l'ouvrage concernés. Des lois et règlements, des lignes directrices et des codes de pratique fédéraux et provinciaux régissent une grande part des activités d'entretien courant. Il est question ci-après des éventuelles incidences de cette catégorie de travaux sur les poissons et leur habitat.

L'entretien courant comprend les travaux requis pour l'exploitation normale de la centrale. Ces travaux sont généralement exécutés sur une base régulière durant toute la vie utile de l'installation; ce sont, par exemple, la vérification quotidienne des équipements, l'analyse annuelle de l'huile des transformateurs, l'entretien mensuel des moteurs et l'entretien annuel de la végétation.

Description

Les travaux d'entretien courant des centrales hydroélectriques comprennent ce qui suit :

- entretien des équipements, y compris la gestion des huiles, des combustibles, des substances chimiques et des déchets y associés
- entretien des ouvrages, notamment le nettoyage (par ex., nettoyage des planchers, sablage), la peinture et les travaux mineurs de réparation des ouvrages en béton
- entretien de la végétation dans le voisinage des ouvrages (par ex., barrages, postes de transformation, emprises de lignes de transport)
- travaux se faisant dans les cours d'eau et autour, pour la stabilisation des berges, la lutte contre l'érosion, l'entretien des corridors de transport et l'entretien des accès publics (par ex., les rampes de mise à l'eau).

Les travaux d'entretien courant d'une centrale hydroélectrique se distinguent des mêmes travaux effectués dans un autre type d'installation industrielle par l'impact qu'ils sont susceptibles d'avoir sur le cours d'eau aménagé et les répercussions négatives pour le public, pour les utilisateurs de l'eau et pour les ressources halieutiques. Ils nécessitent donc une planification et une exécution très soignées.

Effet sur les poissons et leur habitat

Les travaux d'entretien courant décrits ci-dessus sont tous susceptibles d'entraîner le rejet de matières polluantes dans le cours d'eau, qui peuvent affecter les poissons et altérer leurs habitats. Par exemple, certains produits chimiques, comme les peintures et les solvants, peuvent altérer la composition de l'eau et dégrader des habitats aquatiques, bien que ces effets soient locaux et de courte durée étant donné la forte dilution. Si des précautions ne sont pas prises, le nettoyage au jet de sable peut causer un apport de particules dommageable pour la qualité de l'eau (par ex., augmentation de la turbidité) et les frayères. Toutefois, si les travaux sont exécutés conformément aux règles de bonne

pratique définies par la réglementation en vigueur, les incidences environnementales devraient être réduites au minimum.

Autres considérations

Les travaux de lutte contre l'érosion et de stabilisation des berges peuvent toucher les **ouvrages** et les **propriétés privées** situés à l'aval. Le choix des matériaux et des méthodes d'entretien est souvent dicté en partie par l'usage que les propriétaires voisins entendent faire de la zone riveraine. Les travaux peuvent devoir être reportés à un moment où l'accès est possible, par exemple à un moment où le sol est plus sec, ou encore, à un moment où un champ n'est pas cultivé.

Une grande part des travaux d'entretien courant est soumise à une **réglementation** ou à un régime d'**autorisation**. Lorsque c'est le cas, le moment et la façon d'exécuter ces travaux peuvent être prédéterminés.

Les travaux d'entretien courant peuvent aussi être déterminés par les exigences des lois et règlements sur **la santé et la sécurité publiques**. Ainsi, il est prévu pour certains herbicides une période durant laquelle il faut éviter tout contact avec la zone traitée. Aussi, l'application doit être planifiée de manière à éviter tout conflit avec les activités de plaisance et autres usages des ressources.

Exemples de mesures d'atténuation

Exploitation :

Les travaux d'entretien courant impliquant la manipulation de substances chimiques, d'huiles, de combustibles et autres matières pouvant être nuisibles pour l'environnement font généralement l'objet de **politiques** et de **procédures**, d'une **formation** et, dans certains cas, d'un **contrôle et d'un suivi**. Ces mesures visent notamment l'utilisation d'herbicides dans la lutte contre la végétation, d'essence ou de diesel dans le matériel d'entretien, et d'huiles isolantes ou lubrifiantes dans les équipements d'exploitation. Plusieurs de ces travaux, comme l'application de pesticides, sont également régis par une réglementation.

Les matériaux utilisés dans l'entretien des ouvrages (par ex., peinture, réparation des ouvrages en béton) doivent être choisis parmi les moins nocifs pour le milieu. Il existe, par exemple, toute une gamme d'abrasifs pour le nettoyage au jet, et tous ne sont pas aussi nuisibles. De plus, depuis une dizaine d'années, la réglementation dans la plupart des régions interdit le rejet dans l'environnement des matériaux abrasifs usés.

Les travaux effectués dans le voisinage de cours d'eaux sont généralement assujettis à un régime d'autorisation provincial. Ces travaux doivent être planifiés de manière à causer le moins possible de dommages directs aux berges et à éviter des problèmes subséquents d'érosion. Ils nécessitent une conception soignée et détaillée. Ainsi, la planification d'une voie d'accès provisoire ou permanente franchissant un affluent doit tenir compte de plusieurs facteurs : choix entre passage à gué et construction d'un pont; dimensionnement de l'ouvrage; technique et calendrier de construction; et restrictions de l'usage.

Autres mesures :

Les incidences environnementales négatives des travaux d'entretien courant peuvent être atténuées grâce à une planification minutieuse, éventuellement associée à un contrôle serré en cours de réalisation. Par exemple, pour ce qui a trait au combustible, il est opportun de le stocker dans des réservoirs appropriés, sous abri si nécessaire, et de vérifier périodiquement qu'il n'y a pas de fuite. Il est aussi opportun de prévoir un **plan d'intervention d'urgence** en cas de déversement accidentel de combustible, d'huile ou de substance chimique. À cet égard, la centrale peut être autonome (personnel dûment formé et équipement nécessaire sur place), ou simplement repérer les services auxquels elle peut s'adresser si nécessaire.

Pour les travaux dans les cours d'eau, la première mesure d'atténuation d'impact est une bonne planification. Il s'agit de planifier l'intervention (par ex., la stabilisation des berges) conformément aux règlements et lignes directrices en vigueur, de mettre en place les ouvrages de protection voulus (par ex., **filtre à particules fines**) avant le début des travaux, puis d'assurer un contrôle continu durant l'exécution pour s'assurer qu'il n'y a aucun entraînement de terre ou autre matériau d'érosion dans le cours d'eau.

Si les travaux entraînent inévitablement une perte importante d'habitats ou d'autres dommages à l'environnement, diverses mesures de compensation s'offrent à l'exploitant : par exemple, la **création de nouveaux habitats**, ou une contribution financière à des projets locaux de **mise en valeur des ressources halieutiques**.

3.5.2 Réparations et réfection

Description

Au cours de sa vie utile, un aménagement hydroélectrique nécessitera occasionnellement des travaux d'entretien qui débordent du cadre de l'entretien courant. Ce genre de travaux est prévu, mais leur nécessité peut se présenter quelques fois seulement pendant toute la durée utile de l'installation.

Voici quelques exemples de travaux de cette catégorie :

- réparations majeures d'ouvrages; par exemple, réfection d'un évacuateur ou des vannes
- reprofilage du lit d'un cours d'eau pour optimiser la chute ou améliorer les conditions d'écoulement dans le canal de fuite
- sautage et dragage pour creuser ou remodeler le lit d'un cours d'eau, enlever des sédiments ou éliminer les obstacles (par ex., à la libre circulation des poissons) qui se forment par suite de l'exploitation de la centrale
- stabilisation des berges et autres mesures de lutte contre l'érosion.

Effet sur les poissons et leur habitat

Compte tenu de l'ampleur et de la complexité que peuvent prendre les travaux de réparation et de remise en état, leur impact sur les poissons et leur habitat dépendront dans une large mesure des modalités d'exécution. Par exemple, les travaux sont-ils faits à sec ou sous l'eau? Les poissons sont-ils capturés et transportés plus loin ou demeurent-ils dans les eaux touchées par les travaux ?

Si les travaux sont faits à sec, la construction d'un barrage ou d'une digue provisoires pour assécher le terrain avant la mise en chantier peut avoir une incidence sur les poissons, notamment en leur coupant le passage et en induisant la perte d'habitat. Si les poissons sont capturés et transportés plus loin, ils peuvent subir des blessures ou divers autres troubles physiques durant l'opération.

Si les travaux sont effectués sous l'eau, par exemple les travaux de stabilisation des berges, le dragage et le sautage, ils peuvent induire une perte d'habitat (par ex., d'aires de frai) ou la dégradation de la qualité de l'eau par les matières en suspension. Par contre, certaines mesures prises pour lutter contre l'érosion, notamment la réalisation de perrés en gros blocs de pierre et les plantations d'arbres, peuvent offrir des nouveaux habitats et des abris aux poissons. De même, le tir aux explosifs peut ameublir des matériaux ou dégager l'accès à un affluent et créer ainsi de nouvelles aires de frai.

Autres considérations

En règle générale, les projets majeurs de réparation et de remise en état sont assujettis à la réglementation fédérale ou provinciale et nécessitent une **autorisation préalable**. Le sautage dans un cours d'eau, par exemple, doit être effectué conformément aux *Lignes directrices concernant l'utilisation d'explosifs à l'intérieur ou à proximité des eaux de pêche canadiennes* de Pêches et Océans Canada (Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2107, Wright, D.G. et Hopky, G.E., P&OC, 1998).

Le dragage est soumis à la réglementation fédérale, en vertu notamment de la *Loi sur la protection des eaux navigables* et de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*.

Les **contraintes inhérentes** au site, par exemple le relief du terrain, la proximité d'un barrage ou autre construction, peuvent déterminer la nécessité ou la faisabilité de travaux comme le dragage et le sautage.

Les travaux majeurs étant souvent très visibles, ils peuvent influencer sur les activités de loisirs et d'autres usages du cours d'eau. Il ne suffit donc pas de se conformer aux strictes dispositions de la réglementation et des lignes directrices en la matière. Il faut planifier les travaux en tenant compte des autres utilisateurs.

Exemples de mesures d'atténuation

Exploitation :

Les autorisations de travaux de réparation et de remise en état des centrales hydroélectriques sont souvent assorties de **conditions d'exécution**, définissant notamment les périodes ou les saisons à l'intérieur desquelles les travaux doivent être exécutés, selon la sensibilité des espèces présentes, ainsi que les types d'équipements et de matériaux qui peuvent être utilisés. Ainsi, elles peuvent interdire l'usage d'explosifs à moins qu'un plan de sautage ne soit approuvé, ou elles peuvent obliger à employer du matériel lourd plutôt que des explosifs pour la fragmentation de la roche dans tous les cas où cela est faisable.

Pour les travaux dans les cours d'eau, on peut faire un premier sautage de faible ampleur pour éloigner les poissons de la zone des travaux avant le sautage principal ou le début de travaux de dragage. Les poissons peuvent aussi être tenus à l'écart de la zone des travaux par des filets, ou peuvent être capturés à l'aide de **filets** ou d'un **appareil de pêche électrique** et transportés plus loin. Dans les zones de pêches sensibles, un **rideau de bulles d'air** ou autre dispositif semblable peut être installé autour du chantier pour limiter l'accès aux poissons, réduire le transport de matières solides en suspension et atténuer l'onde de choc des détonations.

Autres mesures :

Le meilleur moyen d'atténuer les effets des travaux majeurs de réparation et de remise en état est de bien les planifier et de s'assurer qu'ils sont exécutés conformément aux lignes directrices et aux conditions prescrites dans les autorisations, en consultant au besoin les organismes de réglementation.

Après la mise en chantier, les travaux doivent être surveillés de près afin de s'assurer que les mesures prises pour atténuer leur impact sont efficaces et, au besoin, de faire les ajustements qui s'imposent.

La lutte contre l'érosion peut se faire par la mise en place d'un **perré** ou d'un **enrochement de protection**, l'entretien de **zones tampons** naturelles, l'**entretien de la végétation** et le **suivi de l'érosion**.

Les incidences inévitables des travaux de réparation et de réfection peuvent être compensées par des mesures comme l'**amélioration de l'habitat**, l'**ensemencement de poissons** et autres.

ANNEXE A : LES RÉGLEMENTATIONS PROVINCIALES

L'exploitation des aménagements hydroélectriques est régie par la réglementation des provinces.

L'évaluation environnementale constitue généralement la première étape du processus d'autorisation d'un projet d'aménagement, puisqu'elle a pour objet de faire en sorte que les impacts du projet sur le milieu soient prises en compte dès le début de la planification. Cependant, la majorité des centrales hydroélectriques canadiennes ont été construites avant l'adoption des lois sur l'évaluation environnementale, de sorte qu'elles échappent à leur application. Cette évaluation peut être exigée préalablement à certains travaux de réparation ou de réfection. Lorsqu'une évaluation environnementale est exigée en vertu de la loi fédérale et de la loi provinciale, des mesures sont prises pour harmoniser le processus entre les deux paliers de réglementation.

Un grand nombre de lois provinciales visant la protection et la gestion de l'environnement ont une incidence sur l'exploitation des aménagements hydroélectriques. Le tableau A.1 présente un tour d'horizon des principales, par province et par secteur.

Tableau A.1 : Lois provinciales sur l'environnement ayant une incidence sur les aménagements hydroélectriques				
	Gestion de l'eau	Protection de la faune, des ressources halieutiques, de l'environnement	Lutte contre la pollution/ Gestion des déchets	Autres lois environnementales
Colombie-Britannique	Water Act Fisheries Renewal Act Wildlife Act Ecological Reserves Act	Fish Protection Act	Waste Management Act	Environmental Assessment Act
Yukon	Yukon Waters Act Yukon River and Alsek River Basin Agreements Act Civil Emergency Measures Act An Act Approving Yukon Land Claims Final Agreements	Wildlife Act Freshwater Fisheries Agreement Act An Act Approving Yukon Land Claims Final Agreements	Dangerous Goods Transportation Act Public Health Act	An Act Approving Yukon Land Claims Final Agreements Forest Protection Act Historic Resources Act Land Planning and Development Act Lands Act Parks Act
Alberta	Water Act Electric Energy Act	Wildlife Act	Dangerous Goods Handling and Transportation Act Occupational Health and Safety Act Weed Control Act Safety Codes Act, Fire Code	Environmental Protection and Enhancement Act Public lands Act Forest and Prairie Protection Act
Saskatchewan	Water Power Act Water Corporation Act	Fisheries Act (Provincial) Wildlife Act	Environmental Management and Protection Act	Environmental Assessment Act
Manitoba	Water Power Act Water Rights Act	Wildlife Act Endangered Species Act	Dangerous Goods Handling and Transportation Act	Environment Act
Ontario	Ontario Water Resources Act Lakes and Rivers Improvements Act	Endangered Species Act Gasoline-Handling Act & Code Transportation of Dangerous Goods Act	Pesticides Act Environmental Protection Act	Environmental Assessment Act
Québec	Loi sur le régime des eaux	Loi sur les réserves écologiques	Loi sur les produits et les équipements pétroliers	Loi sur la qualité de l'environnement
Nouveau-Brunswick	Loi sur l'assainissement de l'eau	Loi sur la pêche sportive et la chasse Loi sur les espèces menacées d'extinction Loi sur les réserves écologiques		Loi sur l'assainissement de l'environnement
Nouvelle-Écosse	Environment Act Resources Act	Fisheries and Coastal Resources Act Wildlife Act Endangered Species Act Special Places Protection Act Marshland Reclamation Act	Environment Act	Environment Act
Terre-Neuve	Water Protection Act	Wilderness and Ecological Reserves Act		Environmental Assessment Act Environment Act

ANNEXE B : GLOSSAIRE

<i>Aménagement en cascade</i>	Suite de centrales hydroélectriques aménagées le long d'un même cours d'eau de manière à ce que l'eau restituée par la centrale d'amont s'écoule directement dans le réservoir de la centrale d'aval.
<i>Anoxie</i>	Absence d'oxygène; caractéristique de l'eau d'un réservoir ou d'aval d'une centrale où la consommation importante d'éléments nutritifs entraîne une diminution de la concentration en oxygène dissous dans l'eau.
<i>Ascenseur à poissons</i>	Dispositif assimilé à un ascenseur permettant de faire franchir aux poissons un barrage hydroélectrique élevé.
<i>Aspirateur</i>	Tube conduisant l'eau des turbines au canal de fuite.
<i>Au fil de l'eau</i>	Se dit d'un aménagement hydroélectrique ne comportant pratiquement aucun réservoir à l'amont et, par conséquent, qui est tributaire des débits du moment.
<i>Bâche spirale</i>	Conduite en acier de forme hélicoïdale conçue pour alimenter uniformément en eau la roue de la turbine.
<i>Barrage</i>	Ouvrage construit en travers du lit d'un cours d'eau afin de dériver ou de retenir les eaux.
<i>Basses eaux, ou étiage</i>	Voir étiage.
<i>Bassin hydrographique, ou bassin versant</i>	Région qui draine ses eaux dans un lac ou un cours d'eau.
<i>Benthos</i>	Ensemble des organismes aquatiques vivant en relation avec le fond, fixés ou s'en éloignant peu.
<i>Bief amont</i>	Retenue d'eau derrière un barrage au fil de l'eau ou partie du réservoir située en amont d'une centrale
<i>Bief d'aval, ou canal de fuite</i>	Partie d'un cours d'eau qui reçoit l'eau ayant passé par un ouvrage hydraulique
<i>Canal de fuite</i>	Voir bief d'aval.
<i>Centrale de base</i>	Centrale fonctionnant en continu, à l'exception des pannes et des arrêts pour entretien.
<i>Centrale de pointe</i>	Centrale conçue essentiellement pour répondre à la demande de pointe.
<i>Chenal</i>	Partie profonde d'un cours d'eau dans laquelle s'écoulent l'eau et les sédiments qu'elle charrie.
<i>Conduite forcée</i>	Conduite en charge amenant l'eau motrice de la prise d'eau aux turbines.
<i>Courbe d'exploitation optimale</i>	Courbe établie d'après l'expérience pour indiquer la manière dont un réservoir doit être exploité de façon optimale

<i>Cours d'eau</i>	Lit et berges d'un chenal naturel dans lequel l'eau peut circuler; s'applique aussi aux canaux, réservoirs et autres ouvrages artificiels de surface.
<i>Cours d'eau aménagé</i>	Cours d'eau dont le régime naturel est modifié par un ou plusieurs barrages.
<i>Cours principal</i>	Chenal libre principal d'un cours d'eau, par opposition à ses affluents.
<i>Cours supérieur</i>	Partie d'amont d'une rivière près de sa source.
<i>Crue</i>	Montée naturelle et en général brève du niveau d'un cours d'eau au-dessus de son niveau normal, se produisant lors de pluies abondantes ou à la fonte des neiges.
<i>Crue printanière</i>	Débit important d'eau douce au printemps, résultant de la fonte rapide des neiges.
<i>Débit</i>	Volume d'eau écoulé par unité de temps en un point donné d'un cours d'eau, généralement exprimée en mètres cubes par seconde (m ³ /s).
<i>Débits de Chasse</i>	Débit élevé sur une courte période dans un cours d'eau pour éliminer la vase, nettoyer les frayères et, dans certaines circonstances, forcer le déplacement des poissons.
<i>Débit minimum</i>	Débit minimum requis pour supporter la vie dans un cours d'eau.
<i>Débit réservé</i>	Débit maintenu artificiellement dans un cours d'eau pour la protection des habitats aquatiques, des ressources halieutiques, des activités de loisir ou d'autres usages des eaux.
<i>Demande de base</i>	Demande constante d'électricité d'un réseau sur une période donnée.
<i>Demande de pointe</i>	Demande maximale d'électricité à laquelle doit faire face un réseau pendant une période donnée.
<i>Dérivation</i>	Action de détourner l'eau d'un cours ou d'une étendue d'eau dans un canal, un conduit ou une canalisation.
<i>Déversement</i>	Eau déversée d'un barrage, sans passer par les turbines.
<i>Directrices</i>	Vannes servant à régler la quantité d'eau amenée du réservoir aux turbines.
<i>Écoulement uniforme</i>	On dit que l'écoulement est uniforme dans un tronçon quand la hauteur d'eau et la vitesse demeurent constantes. La ligne d'eau dans ce cas est parallèle à la ligne du fond.
<i>Entraînement</i>	Action par laquelle le poisson est entraîné par le courant dans les évacuateurs de crues ou les turbines; peut être source de blessures et de mortalité.
<i>Étiage, ou basses eaux</i>	Période de basses eaux résultant d'une diminution des précipitations.

<i>Évacuateur de crues</i>	Ouvrage situé par dessus ou à côté d'un barrage permettant d'évacuer le surplus d'eau sans passer par les turbines; l'évacuateur est une structure de sécurité du barrage.
<i>Gestion du débit</i>	Gestion des opérations hydroélectriques en vue de contrôler les débits en aval et leur influence.
<i>Gestion des eaux</i>	Processus décisionnel concernant l'utilisation rationnelle et la répartition équitable des ressources en eaux d'un bassin versant.
<i>Hauteur de chute</i>	Différence entre le niveau d'eau d'amont et le niveau d'eau d'aval d'un barrage.
<i>Hydrologie, cycle hydrologique</i>	Science appliquée traitant des caractéristiques des eaux et du cycle continu de l'évapotranspiration, des précipitations, de l'écoulement ou de l'infiltration et de l'emmagasinement.
<i>Lâchure</i>	Volume d'eau relâché d'un réservoir.
<i>Lacustre (lenticque)</i>	Se dit de ce qui vit sur les bords ou dans les eaux d'un lac, de ce qui est propre aux lacs.
<i>Littoral</i>	Se dit de ce qui habite ou appartient aux zones peu profondes d'un lac ou d'une rivière, jusqu'à la profondeur recevant suffisamment de lumière pour supporter une végétation chlorophyllienne.
<i>Lotique</i>	Propre aux milieux d'eau courante.
<i>Marnage</i>	Différence entre les niveaux maximum et minimum d'un réservoir, ou fait d'abaisser le niveau de l'eau dans un réservoir.
<i>Modulation</i>	Manœuvre d'exploitation consistant à augmenter ou à réduire progressivement la production d'électricité et, par conséquent, le débit dans le but d'atténuer les variations du débit à l'aval.
<i>Passes à poissons</i>	Suite de bassins aménagés pour permettre aux poissons de franchir un barrage.
<i>Perré</i>	Revêtement en pierres servant à empêcher l'érosion des berges d'un cours d'eau.
<i>Plaine d'inondation</i>	Partie de la vallée d'un cours d'eau qui se trouve inondée lors d'une crue.
<i>Prise d'eau</i>	Tout ouvrage sur les rives d'un réservoir, dans le corps d'un barrage ou en rivière qui permet de dériver l'eau par conduite, canal ou galerie vers son lieu d'utilisation.
<i>Régime</i>	Ensemble des caractéristiques de l'écoulement d'un cours d'eau.
<i>Réserve</i>	Volume d'eau contenu dans un réservoir.
<i>Réserve disponible ou volume disponible</i>	Tranche d'une retenue comprise entre le niveau minimal et le niveau maximal d'exploitation.

<i>Réservoir</i>	Retenue à l'amont d'un barrage, généralement sous forme de lac artificiel, utilisée pour stocker et déstocker de l'eau.
<i>Résidente</i>	Se dit d'une espèce qui passe son cycle de vie complet en eaux douces dans un espace limité.
<i>Riverain</i>	Propre aux rives d'un cours d'eau ou d'une étendue d'eau.
<i>Seuil</i>	Barrage de faible hauteur construit en travers d'un cours d'eau pour élever le niveau d'eau à l'amont.
<i>Stockage</i>	Emmagasinement de l'eau dans une retenue, dans un réseau hydrographique ou ailleurs pour constituer une réserve.
<i>Stratification thermique</i>	Présence de couches de différentes températures dans un réservoir profond durant l'été.
<i>Sursaturation en gaz dissous</i>	Caractéristique de l'eau lorsqu'elle contient une quantité de gaz dissous (par ex., azote et oxygène) supérieure à celle qui serait nécessaire pour la saturer (supérieure à 100 p. 100).
<i>Tranche de puissance</i>	Résultat du découpage de la production de base d'une centrale pour adapter la production aux variations saisonnières de la demande.
<i>Volume disponible ou réserve disponible</i>	Volume de la retenue compris entre les niveaux minimum et maximum d'exploitation.

ANNEXE C : OUVRAGES CONSULTÉS

Cette annexe contient les titres de documents qui ont servi de source d'information pour le chapitre 3 du présent rapport. On trouvera d'autres titres dans la base de données de recherche indiquée ci-après, disponible auprès des services de l'ACÉ :

Association canadienne de l'électricité. 1999. *Canadian Hydroelectric Utilities Environmental Studies*. Tableur Excel. Ottawa (Ontario) : ACÉ.

Gestion des réservoirs

Bodaly, R.A., R.E. Hecky, and R.J.P. Fudge. 1984. «Increases in fish mercury levels in lakes flooded by the Churchill River diversion, northern Manitoba,» *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41: 682-691.

Bodaly, R.A., and Neil E. Strange, North/South Consultants Inc. 1997 «Mercury in fish in northern Manitoba reservoirs and associated water bodies : summary report for 1992, 1994 and 1996 sampling». Sponsored by: Canada. Dept. of Fisheries and Oceans, Manitoba Hydro, Manitoba Dept. of Natural Resources and Hydro-Quebec

Hydro-Québec, Direction de l'environnement et l'Université de Sherbrooke, Faculté des sciences appliquées. 1991. *Influence des facteurs environnementaux sur la libération de mercure dans les réservoirs hydroélectriques*. Chercheurs principaux : Ken Morrison, Normand Thérien. Pour le compte de l'Association canadienne de l'électricité, Recherche et développement

Lucotte, M., R. Schetagne, N. Thérien, C. Langlois et A. Tremblay (Eds), 1999. Mercury in the Biochemical Cycle: Natural Environments and Hydroelectric Reservoirs of Northern Québec (Canada). Environmental Science Series, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 334 pages.

North/South Consultants Inc. 1999. *Environmental Effects of Hydroelectric Generation in Canada*. Report Prepared to Provide Background for the Environmental Choices Program. Winnipeg, MN: NSC.

Régulation à long terme du débit

Armour, C.L., and J.G. Taylor. 1991. «Evaluation of the Instream Flow Incremental Methodology by U.S. Fish and Wildlife Service Field Users,» *Fisheries*, Vol. 16, No. 5, pp. 36-43.

Caissie, D., and N. El-Jabi. 1995. «Comparison and regionalisation of hydrologically based instream flow techniques in Atlantic Canada,» *Canadian Journal of Civil Engineering* 22:235-246.

- Castleberry, D.T., J.J. Cech Jr., D.C. Erman, D. Hankin, M. Healey, G.M. Kondolf, M. Mangel, M. Mohr, P.B. Moyle, J. Nielsen, T.P. Speed, and J.G. Williams. 1996. «Uncertainty and Instream Flow Standards,» *Fisheries*, Vol. 21, No. 8, pp. 20-21.
- Hubert, W.A., C. Raley, and S.H. Anderson. 1990. «Compliance with Instream Flow Agreements in Colorado, Montana and Wyoming,» *Fisheries*, Vol. 15, No. 2, pp. 8-10.
- Jacques Whitford Environment, Acres International Ltd., and T. R. Payne and Associates. 1996. *Evaluation of Instream Flow Needs Assessment Methodologies in Newfoundland*. Report to the Canada - Newfoundland Agreement Reporting Water Resource Management and the Green Plan, Habitat Action Plan.
- Studley, T.K., J.E. Baldrige, and S.F. Railsback. 1996. «Predicting Fish Population Response to Instream Flows,» *Hydro Review*, Vol XV, No. 6, pp. 48-56.
- Conder, A.L., and T.C. Annear. 1987. «Test of weighted usable area estimates derived from a PHABSIM model for instream flow studies on trout streams,» *North American Journal of Fisheries Management* 7: 339-350.
- Lamb, B.L. 1989. «Quantifying instream flows: matching policy and technology.» In L.J. MacDonnell, T.A. Rice, and S.J. Shupe (eds.), *Instream Flow Protection in the West*. Denver, CO: Natural Resources Law Centre, University of Colorado School of Law.
- Lewis, A.F., A.C. Mitchell, and C.M. Prewitt. 1994. *Evaluation of the effectiveness of water release as a mitigation to protect fish habitat*. Report prepared for the Canadian Electrical Association by Triton Environmental Consultants Ltd. and E.A. Engineering Science and Technology. CEA Report 9118 G 878. Montreal, Canada, TECL.
- Mathur, D., W.H. Bason, E.J. Purdy, Jr., and C.A. Silver. 1985. «A critique of the Instream Flow Incremental Methodology,» *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 43: 1093-1094.
- Reiser, D.W., T.A. Wesche, and C. Estes. 1989. «Status of instream flow legislation and practices in North America,» *Fisheries* (Bethesda) 14(2): 22-29.
- Tennant, D.L. 1976. «Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation, and related environmental resources. In J.F. Osborn and C.H. Allman (eds.), *Proceedings of the Symposium and Specialty Conference on Instream Flow Needs*. Volume 2. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.

Régulation à court terme du débit

- Cushman, R.M. 1985. «Review of ecological effects of rapidly varying flows downstream of hydroelectric facilities,» *North American Journal of Fisheries Management* 5:330-339.

- Higgins, P.S., and M.J. Bradford. 1996. «Effectiveness of large scale fish salvage to reduce the impacts of controlled flow reduction in a regulated river,» *Journal of American Fisheries Society*.
- Higgins, P.S. 1995. *Flow Ramping at Hydroelectric Discharge Facilities: Methodologies for Impact Assessment and Mitigation*. Report No. EA 94-07. Vancouver, BC: Strategic Fisheries Safety and Environment, BC Hydro.
- Hirst, S.M. 1991. «Impacts of the operation of existing hydroelectric development on fishery resources in British Columbia,» Vol. I. *Anadromous salmon*. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquatic. Sci.* 2093.
- Hunter, M.A. 1992. *Hydropower flow fluctuations and salmonids; A Review of the biological effects, mechanical causes, and options for mitigation*. Washington Department of Fisheries Technical Report 119:46.
- Lister, D.B. 1990. *An assessment of the fisheries enhancement potential of BC Hydro operations at Shuswap River*. Report Prepared for BC Hydro Environmental Resources. Vancouver, BC: .
- Klohn-Crippen Integrated. 1993. *Norns Creek Fan Habitat Enhancement*. Report Prepared for BC Hydro Hydroelectric Engineering Division. Report No. KCI-128. Vancouver, BC: KCI.
- Milhous, R.T. 1991. «Instream flow needs below peaking hydroelectric projects.» In D.D. Darling (ed.), *Proceedings of the International Conference on Hydropower – Waterpower '91*. Vol. 1.
- R.W. Beck and Associates. 1989. *Skagit River salmon and steelhead fry stranding studies*. Report Prepared for Seattle City Light. Seattle, WA: RWBA.

Déversements

- North/South Consultants Inc. 1999. *Environmental Effects of Hydroelectric Generation in Canada*. Report Prepared to Provide Background for the Environmental Choices Program. Winnipeg, MN: NSC.
- Raymond, H.L. 1988. «Effects of hydroelectric development and fisheries enhancement on spring and summer chinook salmon and steelhead in the Columbia River basin,» *N. Amer. J. Fish. Mgmt.* 8: 1-24.
- Ruggles, C.P., and D.G Murray. 1983. «A review of fish response to spillways.» *Canadian Technical Report on Fisheries and Aquatic Sciences* No.1171.
- Stokesbury, K.D.E., and M.J. Dadswell. 1991. «Mortality of juvenile clupeids during passage through a tidal, low-head turbine at Annapolis Royal,» *Nova Scotia, N. Amer. J. Fish. Mgmt.* 11: 149-154.

Fonctionnement des turbines en compensateurs synchrones

Independent Science Group, The. 1996. *Return to the River: Restoration of Salmonid Fishes in the Columbia River Ecosystem*. Report on the Fish and Wildlife Program of the Northwest Power Planning Council. Portland, OR: ISG.

Powell, C., and A. Prince. 1999. *Total Gas Pressure and Fish Depth Distribution Study in the Columbia River Below the Hugh Keenleyside Dam*. Vancouver, BC: Strategic Fisheries, BC Hydro.

Barrages et déplacements des poissons

Acres Consulting Services Ltd. 1984. *Mesures d'atténuation de l'impact sur les ressources biologiques pour les installations hydro-électriques canadiennes*. Association canadienne de l'électricité, n° 156 G 315.237.

Bell, M.C. 1991. *Fisheries Handbook of Engineering Requirements and Biological Criteria*. Portland, OR: U.S. Army Corps of Engineers, North Pacific Division.

Clay, C.H. 1995. *Design of Fishways and Other Fish Facilities*, 2nd ed. Boca Raton, FA: CRC Press.

Cook, T., and E. Taft. 1997. *Engineering Feasibility Study for Improving Fish Passage Facilities at the White Rock Hydroelectric Plant of the Gaspereau River, Nova Scotia*. Report Prepared for Nova Scotia Power Inc.

Ruggles, C.P. et N.H. Collins (Montreal Engineering Co.). 1981. *Mortalité des poissons en fonction des propriétés hydrauliques des turbines*. Association canadienne de l'électricité. Rapport n° G 144.

Ruggles, C.P, T.H. Palmetter et K.D Stokesbury. 1990. *Examen critique des évaluations de la mortalité des poissons lors de leur passage dans les turbines*, préparé pour l'Association canadienne de l'électricité. Rapport n° 801 G 658.

ANNEXE D : MÉTHODES DE DÉTERMINATION DU DÉBIT RÉSERVÉ

Diverses méthodes sont utilisées pour déterminer le débit réservé à maintenir à l'aval des aménagements hydroélectriques pour la protection des poissons, de leur habitat et des autres usages de l'eau. Elles varient de l'avis du spécialiste aux modèles informatiques plus ou moins complexes et à l'essai de différents régimes. Voici en quoi consistent quelques-unes des méthodes les plus courantes.

On peut faire appel à l'**expertise de spécialistes**, biologistes ou équipes pluridisciplinaires, qui déterminent, généralement par observation visuelle de l'habitat, le débit requis pour maintenir un niveau adéquat à l'aval des ouvrages. Une fois celle-ci déterminée, le débit minimal peut être calculé. Cette méthode est simple, peu coûteuse et peu exigeante en ressources, mais elle manque de précision et de valeur scientifique.

Dans la méthode du **débit de base**, on détermine à partir des données historiques le débit médian du mois des plus basses eaux (généralement août ou septembre), et cette valeur est utilisée comme débit minimal pour toute l'année (Reiser *et al.* 1989).³ Cette méthode repose sur l'hypothèse qu'une valeur de débit spécifique par unité de surface du bassin versant donne un débit minimal adéquat. Cette méthode, utilisée principalement en Nouvelle-Angleterre, est d'une application facile, à condition qu'il existe des données historiques. Cependant, elle ne permet pas de tenir compte des données biologiques spécifiques au site considéré, ni de déterminer un débit adéquat pour la fraie ou l'incubation.

La **méthode de Tennant** définit huit classes de débits exprimés en termes de pourcentage du débit moyen en un point donné du cours d'eau (Tennant 1976). Par exemple, serait considéré comme « bon » un débit correspondant à 20 % du débit moyen pour la période d'octobre à mars, ou à 40 % du débit moyen pour la période d'avril à septembre. En l'absence de séries de données hydrologiques, un débit minimum peut toujours être proposé d'après un autre indicateur, par exemple la superficie du bassin versant. Cette méthode est peu coûteuse et nécessite peu de données, mais elle manque de précision et ne tient pas compte des conditions propres au site considéré.

Une version modifiée de cette méthode consiste à appliquer le calcul de Tennant de façon répétée pour obtenir les pourcentages du débit annuel moyen d'un cours d'eau. Il s'agit de consigner des observations sur les habitats les plus importants en fonction des débits, exprimés en pourcentages du débit annuel moyen. Cette variante permet d'établir une échelle de recommandations équivalant aux classes de débits de Tennant, mais propre à une espèce ou à un cours d'eau en particulier.

La **méthode du périmètre mouillé** appartient au domaine de l'hydraulique plutôt que de l'hydrologie. Elle repose sur l'hypothèse qu'il y a un rapport direct entre le périmètre mouillé et l'habitat disponible pour les poissons. La valeur du périmètre mouillé établie par cette méthode est la plus petite longueur du fond en contact avec l'eau, dans une section transversale du cours d'eau, jugée nécessaire pour protéger les habitats (Lamb 1989). On établit pour le cours d'eau considéré une courbe représentant le périmètre mouillé en fonction du débit. La valeur du débit au point d'inflexion de la courbe, soit la valeur à partir de laquelle une faible diminution du débit entraîne une baisse plus marquée du périmètre mouillé, est prise comme débit minimal à assurer. Cette méthode nécessite des mesures sur le terrain (moins toutefois que la méthode IFIM décrite ci-après), et elle reflète les conditions particulières du site. Cependant, il n'y a pas de lien direct

³ Voir l'annexe C.

entre le débit et les habitats réellement disponibles, et le choix des sections où sont effectuées les mesures est subjectif.

L'**indice de qualité des habitats** repose sur des analyses statistiques pour mettre en relation les variables environnementales du cours d'eau et les densités des populations de poissons (Lamb 1989). Cette méthode nécessite une quantité de données considérable concernant notamment l'indice des débits de fin d'été, la variation annuelle du débit, la température maximale en été, les concentrations de nitrates, la densité des invertébrés benthiques, les zones servant d'abris, l'érosion des berges, la végétation aquatique submergée, la vitesse du courant et la largeur du cours d'eau. Chacun de ces facteurs peut varier d'une région à l'autre et aura donc une incidence plus ou moins importante sur le calcul du débit minimal à assurer. La méthode semble être appropriée, mais onéreuse sur le plan de la collecte de données locales.

La méthode des microhabitats **IFIM** (pour « Instream Flow Incremental Methodology ») a été mise au point par un groupe de travail du US Fish & Wildlife Service, pour évaluer l'impact de la variation du débit sur les populations de truite dans les petits cours d'eaux froides (Conder et Annear 1987, Mathur *et al.* 1985). Cette méthode repose sur une combinaison de concepts de gestion intégrée des ressources en eau, de modèles analytiques pour l'étude des paramètres physico-chimiques, d'analyses des différentes options et d'arbitrages. L'élément le plus connu de cette méthode est le modèle de simulation de l'habitat physique PHABSIM, qui permet de définir des critères pour la détermination du débit réservé à assurer.

Le modèle PHABSIM est utilisé pour évaluer les préférences des poissons pour les différents microhabitats en fonction de diverses valeurs de débit. Cette approche repose sur deux hypothèses importantes, à savoir (1) que le régime d'écoulement est le principal facteur déterminant des effectifs de poissons, et que (2) les poissons réagissent directement au régime d'écoulement. Une des étapes importantes de l'application du modèle PHABSIM est l'établissement de courbes de qualité de l'habitat, lesquelles sont plus exactes si elles sont dérivées de données recueillies au site considéré. La méthode IFIM-PHABSIM est peut-être la meilleure des méthodes hydrobiologiques en usage, mais elle repose sur des hypothèses qui n'ont pas encore été prouvées, et son application est très coûteuse. De plus, il n'est pas certain qu'elle soit applicable à d'autres régions des États-Unis ou du Canada, même en établissant des courbes de qualité de l'habitat propres à la région considérée.

La **gestion adaptative** peut être envisagée dans les cas où la complexité des ressources est telle qu'on ne peut prévoir toutes les conséquences d'une décision opérationnelle. Il s'agit d'essayer différents protocoles d'exploitation et d'évaluer pour chacun la réaction des poissons, ou autres ressources valorisées. Les résultats de ces évaluations sont comparés aux prévisions et servent à améliorer l'exploitation. Dans le cas de bassins où s'opère une interaction complexe entre plusieurs paramètres, le processus d'essai et d'évaluation peut s'étaler sur plusieurs années. Cette approche est très onéreuse et, par conséquent, convient surtout lorsque les ressources présentent une grande valeur.

Au Canada, les gestionnaires empruntent à plusieurs méthodes les éléments les plus utiles et les combinent et les adaptent pour obtenir une **méthode adaptée à la région considérée**. Des éléments de la méthode de Tennant, du périmètre mouillé, des microhabitats (IFIM-PHABSIM) et autres font l'objet d'évaluations dans la plupart des régions du pays. Les principaux paramètres à prendre en compte comprennent les conditions hydrologiques et hydrauliques de la région, les espèces en présence et leurs exigences écologiques et les pratiques implantées, les engagements pris et les exigences réglementaires en vigueur.