

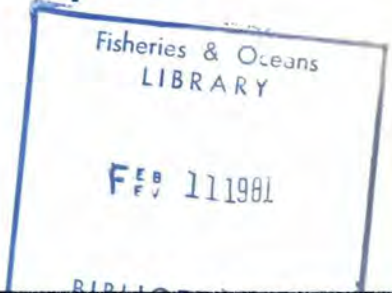
205F

# Bulletin canadien des sciences halieutiques et aquatiques

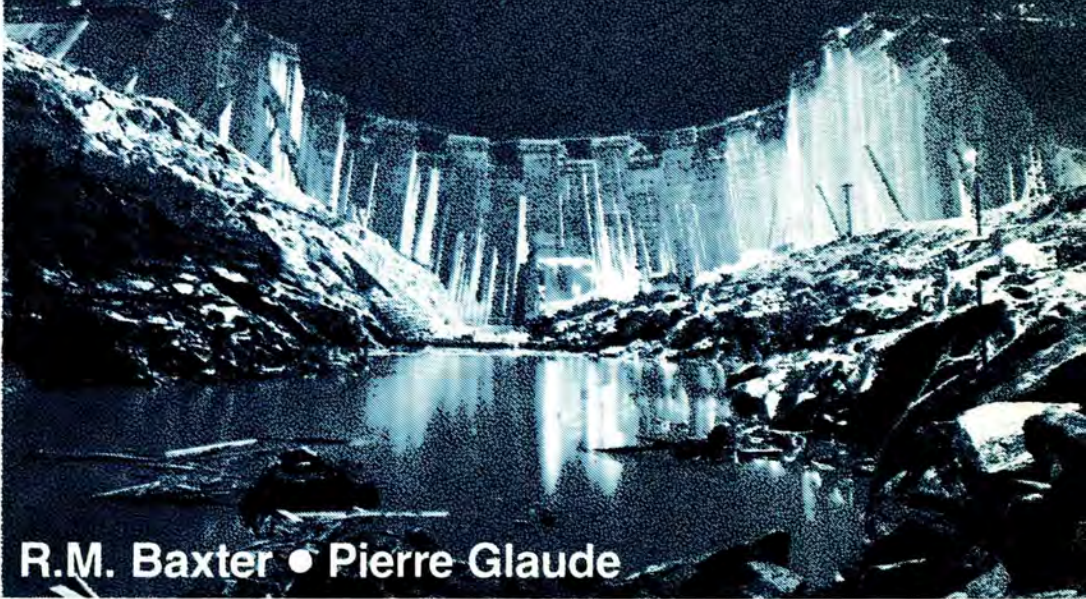
DFO - Library / MPO - Bibliothèque



12039489



## Les effets des barrages et des retenues d'eau sur l'environnement au Canada : Expérience et perspectives d'avenir



R.M. Baxter • Pierre Glaude

BULLETIN 205F  
Ottawa 1980

SH  
223  
B8213  
#205F  
cep 1



Gouvernement du Canada  
Pêches et Océans

Government of Canada  
Fisheries and Oceans

**LES EFFETS DES BARRAGES ET DES RETENUES D'EAU  
SUR L'ENVIRONNEMENT AU CANADA**

**EXPÉRIENCE ET PERSPECTIVES D'AVENIR**

Les *Bulletins canadiens des sciences halieutiques et aquatiques* sont conçus dans le but d'évaluer et d'interpréter les connaissances actuelles dans les domaines scientifiques qui se rapportent aux pêches et à l'environnement aquatique du Canada. On trouvera une liste des récents bulletins à la fin de la présente publication.

Le *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques* est publié en volumes annuels de douze numéros et les *Publications spéciales canadiennes des sciences halieutiques et aquatiques* sont publiées périodiquement. On pourra se procurer ces publications dans les librairies autorisées, les autres librairies, ou en transmettant sa commande, payable à l'avance, au Centre d'édition du gouvernement du Canada, Approvisionnement et Services Canada, Hull (Québec) K1A 0S9. Les chèques ou mandats-postes, payables à l'avance en monnaie canadienne, doivent être faits à l'ordre du Receveur général du Canada.

*Directeur et rédacteur en chef  
de l'information scientifique*

J. WATSON, PH.D.

*Sous-directrice et rédactrice*

JOHANNA M. REINHART, M.SC.

*Rédacteurs adjoints*

D. G. COOK, PH.D.

LORRAINE C. SMITH, PH.D.

J. CAMP

*Production et documentation*

G. J. NEVILLE

JOAN KELLEY-FAGAN

Ministère des Pêches et des Océans  
Direction de l'information et des publications scientifiques  
Ottawa, Canada  
K1A 0E6

BULLETIN 205F

(Traduction française du bulletin de R.M. Baxter et Pierre  
Glaude intitulé « *Environmental Effects of Dams and  
Impoundments in Canada: Experience and Prospects* »  
publié en 1980)

# Les effets des barrages et des retenues d'eau sur l'environnement au Canada

## Expérience et perspectives d'avenir

R. M. BAXTER

*Ministère de l'Environnement  
Institut national de recherche sur les eaux  
Burlington (Ontario) L7R 4A6*

PIERRE GLAUDE

*Ministère de l'Environnement  
Direction générale des terres  
Hull (Québec) K1A 0E7*

MINISTÈRE DES PÊCHES ET DES OCÉANS  
Ottawa 1980

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1980

En vente dans les librairies autorisées, les autres librairies,  
ou encore, par commande payable à l'avance,  
au Centre d'édition du gouvernement du Canada,  
Approvisionnement et Services Canada, Hull (Québec) K1A 0S9.

Les chèques ou mandats-postes, payables en monnaie canadienne,  
doivent être faits à l'ordre du Receveur général du Canada.

Un exemplaire de cette publication a été déposé, pour référence,  
dans les bibliothèques publiques du Canada

Canada : \$2.50  
Autres pays : \$3

N° de catalogue Fs 94-205F  
ISBN 0-660-90600-7  
ISSN 0706-6511

*Prix sujet à changement sans avis préalable*

On devra référer comme suit à cette publication :

BAXTER, R.M. ET P. GLAUDE, 1980. Les effets des barrages et des retenus d'eau sur l'environnement au  
Canada : expérience et perspectives d'avenir, *Can. Bull. Fish. Aquat. Sci.* 205F: 36 p.

## *Table des matières*

vi	RÉSUMÉ
vi	PRÉFACE
1	INTRODUCTION
4	LES TYPES DE BARRAGES ET DE RETENUES, ET LEURS BUTS
6	LES EFFETS DES INONDATIONS ET LA QUESTION DU DÉBOISEMENT PRÉALABLE
8	LES PROBLÈMES DANS LA ZONE DE RABATTEMENT DU PLAN D'EAU
9	RETENUES ET QUALITÉ DES EAUX
12	L'ÉROSION, LA SÉDIMENTATION ET LA MODIFICATION DE LA NOUVELLE RIVE
16	CHANGEMENT DU DÉBIT : EFFETS EN AVAL
18	EFFETS BIOLOGIQUES DES BARRAGES ET RETENUES D'EAU
23	ACTIVITÉ SISMIQUE PRODUITE PAR LES RETENUES D'EAU (SISMICITÉ INDUITE)
23	EFFETS DES RETENUES D'EAU SUR LE CLIMAT
26	AUTRES EFFETS DES RETENUES D'EAU
27	LES EFFETS SOCIAUX DES RETENUES D'EAU
27	CONCLUSIONS
29	RÉFÉRENCES

## Résumé

BAXTER R.M. ET P. GLAUDE, 1980, Les effets des barrages et des retenues d'eau sur l'environnement au Canada : expérience et perspectives d'avenir, *Can. Bull. Fish. Aquat. Sci.* 205F: 36 p.

Bien que les barrages et réservoirs aient grandement contribué au bien-être des Canadiens, ils peuvent avoir des conséquences graves pour l'environnement et le bien-être des individus. Les auteurs du présent bulletin examinent les conséquences écologiques de la construction des barrages et de la retenue des eaux au Canada et signalent aux spécialistes de l'environnement et aux ingénieurs les problèmes qui peuvent être inhérents à de telles activités.

Certaines des conséquences, comme la perte de ressources due à l'inondation, l'entravement des migrations des poissons, la détérioration de l'environnement et la pollution résultant d'activités connexes à la construction, sont immédiates, directes et évidentes. D'autres comme les changements de la composition chimique de l'eau et la modification de la berge peuvent ne se manifester qu'à long terme. La modification de la berge est d'une importance particulière dans les réservoirs situés dans les zones de pergélisol. Les grandes retenues d'eau peuvent influencer sur le climat dans le voisinage immédiat et parfois même provoquer des séismes. Le mode d'exploitation du réservoir entraîne lui aussi des conséquences. Un faible débit dans les turbines peut modifier de façon radicale la distribution des températures dans le cours d'eau en aval. La création d'une variation saisonnière non naturelle du niveau de l'eau peut entraîner la formation d'une zone de rabattement du plan d'eau pratiquement aride autour du réservoir, et des changements géographiques et écologiques en aval, parfois à de très grandes distances.

Nombre de ces effets agissent de manière parfois contradictoire sur les organismes vivant dans les réservoirs et dans les cours d'eau, de sorte que les conséquences biologiques ultimes sont souvent imprévisibles.

Il est parfois difficile de réconcilier les intérêts de ceux qui entendent profiter d'un projet donné et de ceux qui en sont les victimes probables. Le conflit est particulièrement aigu lorsque le projet touche des communautés indigènes qui poursuivent un mode de vie traditionnel. Ces sociétés fragiles risquent d'être sérieusement bouleversées.

*Mots clés* : barrages, réservoirs, retenues d'eau, lacs artificiels, effets sur l'environnement, limnologie, pêches, qualités de l'eau, pergélisol, Canada

## Préface

La présente étude est basée sur un document intitulé « La prévision et le contrôle des effets des barrages et des retenues d'eau sur l'environnement au Canada ; étude des derniers développements » rédigé à la demande du comité de gestion du ministère de l'Environnement. Les auteurs du document voulaient décrire les sujets que devrait couvrir un éventuel manuel. Lorsqu'on décida de ne pas donner suite au manuel, on jugea utile de revoir la communication et de la mettre sous une forme accessible à un plus grand public.

Monsieur D. A. Bondy, alors de la Direction générale des terres, a participé à la préparation du premier document et Monsieur D. W. Phillips, du Service de l'environnement atmosphérique, a rédigé un article sur les effets climatiques des retenues d'eau qui est publié ici dans une version légèrement abrégée.

La révision du texte a été facilitée par de nombreuses contributions individuelles (lecture et commentaires du premier document). Nous voulons remercier tout particulièrement les personnes suivantes, qui ont été exceptionnellement prodigues de suggestions et de renseignements : R. Hecky, de l'Institut des eaux douces de Winnipeg; D. M. Kelly, de la Direction générale des eaux intérieures, à Halifax; R. Newbury, de l'Institut des eaux douces; G. S. Peck, des Sciences océaniques et aquatiques à Burlington; et A. Soucy et ses collègues, de la Société d'énergie de la Baie James.

## Introduction

Aucun secteur du génie n'a contribué plus au développement de la civilisation que l'art et la science du contrôle des cours d'eau. C'est également l'un des plus anciens; quatre mille ans avant Jésus-Christ, déjà, des ouvrages assez complexes étaient réalisés en Égypte, en Inde et en Chine (Biswas 1975). Les avantages des ouvrages hydrauliques sont si considérables et si évidents, que pendant longtemps on a négligé la possibilité d'effets nuisibles, sauf en cas de désastres dus à la rupture d'un barrage. Il semblait que toute conséquence indésirable pût être évitée grâce à une conception et à une gestion appropriées; par exemple, l'entravement des migrations des poissons pouvait être évité par la construction d'échelles, la reproduction et la croissance des moustiques de la malaria dans les retenues d'eau, pouvaient être évitées par une variation légère et périodique du niveau de l'eau, et ainsi de suite. Le concept de l'aménagement des grands cours d'eau au profit de l'humanité semble avoir créé une sorte d'euphorie populaire, qui a trouvé expression par exemple dans la chanson de Woodie Guthrie faisant l'éloge du barrage Grand Coulee construit sur le fleuve Columbia (Guthrie 1976).

À mesure que les barrages augmentaient en nombre et en taille, et que le nombre des cours d'eau aménagés se multipliait, il apparut que des

conséquences indésirables, imprévues, pouvaient se manifester, souvent à des endroits éloignés et longtemps après la construction même, par l'entremise d'une chaîne de causes et d'effets souvent très subtiles (White 1977). Ces événements, puisqu'ils se sont produits au cours d'une période d'intérêt populaire intense pour l'environnement, ont suscité dans certains secteurs de la population, des mouvements puissants d'opposition à toute expansion de la retenue ou de l'aménagement des cours d'eau naturels.

Au Canada, comme ailleurs, les cours d'eau naturels sont utilisés depuis longtemps comme voies de transport, et ont été modifiés à la longue de diverses manières, par la construction de canaux et autres ouvrages. Ces ouvrages comprennent des réalisations techniques remarquables, comme par exemple le barrage Jones Falls (fig. 1) sur le canal Rideau près de Kingston. Ce barrage, qui existe toujours, était le plus haut d'Amérique du Nord (19 m) au moment de son achèvement en 1831 (Legget 1961). Le développement de l'agriculture dans les provinces des Prairies a exigé la retenue et la déviation des cours d'eau à des fins d'irrigation. L'énergie hydraulique fut utilisée par les premiers colons pour faire fonctionner les scieries et les moulins à grain. Lorsqu'on commença à prendre conscience du potentiel de l'énergie hydro-électrique au début du siècle actuel, des ingénieurs canadiens ont joué un rôle primordial dans la nouvelle technologie, qui en quelques



FIG. 1 Barrage de Jones Falls (photo Parcs Canada).



décennies a transformé la vie industrielle et domestique du pays (Encyclopédie Canadienne 1975). Avec la mise en chantier et l'achèvement d'ouvrages de plus en plus vastes, la possibilité de conséquences écologiques malheureuses incita certains à réfléchir. Les effets du barrage W. A. C. Bennett, construit sur la rivière de La Paix, dans le delta La Paix-Athabasca, dont il est question plus loin, signalèrent, peut-être pour la première fois, le danger à l'ensemble du public. Environ à la même époque, un projet de déviation d'une bonne part de l'eau de la rivière Churchill vers le fleuve Nelson devint l'une des questions principales dans une élection provinciale au Manitoba, et l'annonce du projet hydro-électrique de la baie James par le Premier ministre du Québec souleva l'inquiétude

générale. Peu après, l'inquiétude grandissante des Canadiens concernant les effets écologiques possibles du projet de déviation Garrison au Dakota du Nord, provoqua la nomination par la Commission mixte internationale d'un comité d'étude international pour examiner le problème (International Garrison Study Board 1976). L'étude des réservoirs est actuellement reconnue comme un sujet important en écologie appliquée.

Le Répertoire des barrages du Canada (Pratt 1970) fournit une liste et une courte description des principaux barrages canadiens en existence ou en chantier en 1969, et Efford (1975b) a dressé la liste des principaux projets hydro-électriques canadiens jusqu'à 1974. La

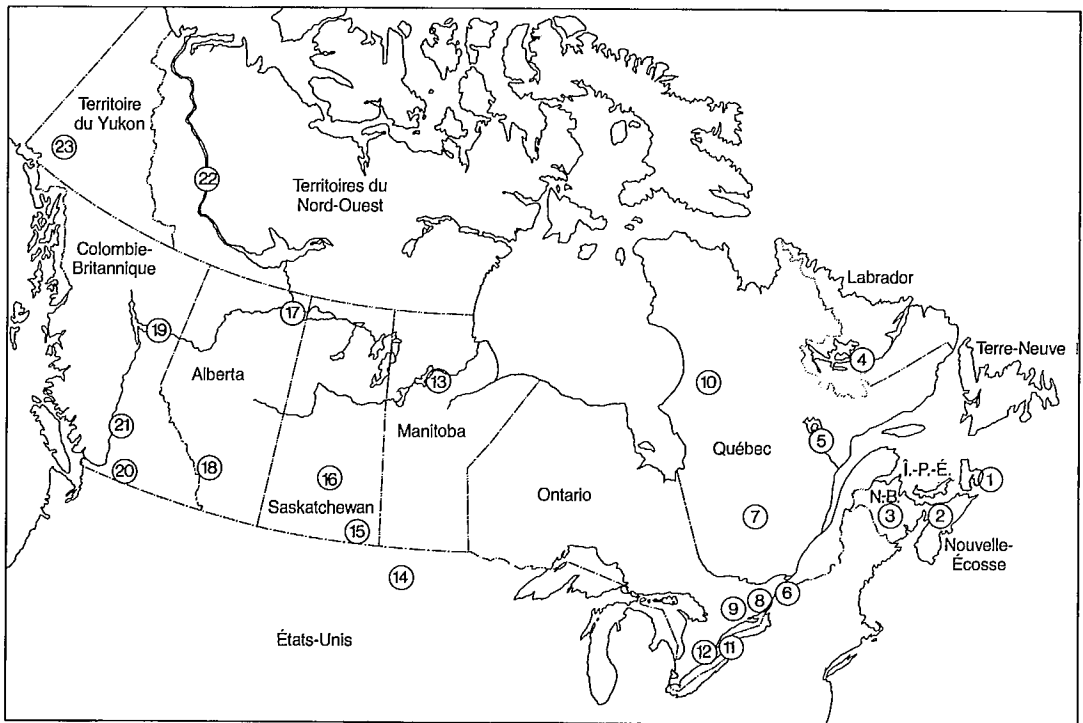


FIG. 2 Situation géographique approximative des principaux ouvrages mentionnés dans le texte. 1, Wreck Cove; 2, bassin des Mines, emplacement possible de l'usine marémotrice de la baie de Fundy; 3, rivière Saint-Jean; 4, projet des chutes Churchill (réservoir Smallwood); 5, complexe Manicouagan; 6, barrage Moses-Saunders; 7, barrage Gouin; 8, barrage de Jones Falls; 9, lacs Kawartha; 10, projet de la baie James — rivières Grande Rivière, Eastmain et Caniapiscou; 11, les chutes Niagara; 12, Deer Creek; 13, le lac Southern Indian et la déviation de la rivière Churchill; 14, projet de déviation de Garrison (É.-U.); 15, réservoir Boundary, Estevan (Saskatchewan); 16, barrage Gardiner (lac Diefenbaker); 17, delta La Paix-Athabasca; 18, barrage de Bassano, rivière Bow; rivière Kananaskis; lac Minnewanka; 19, barrage W.A.C. Bennett (lac Williston); 20, vallée de Skagit; 21, fleuve Fraser; 22, fleuve Mackenzie; 23, lacs Aishihik et Stevens.

situation géographique des ouvrages dont il sera question ici est illustrée dans la figure 2.

Nous allons étudier les conséquences pour l'environnement des barrages et retenues situés au Canada sur la base d'observations ou encore de prévisions fondées sur l'expérience d'autres pays ou de principes physiques et biologiques généraux. Une telle étude pourrait être précieuse aux planificateurs et gestionnaires qui veulent prendre les meilleures décisions possibles, à la lumière des connaissances existantes, sur l'aménagement futur des ressources hydrauliques du Canada. Il ne nous est possible ici que de signaler les principales sources d'inquiétude et les principales méthodes de prévention ou d'adoucissement des conséquences. L'identification et la résolution des problèmes d'un site particulier ne peuvent être réalisées, le cas échéant, que par des études exhaustives faites par des spécialistes des domaines pertinents et grâce à une étroite collaboration entre ces spécialistes et les responsables de la planification, de la construction et de l'exploitation de l'ouvrage.

Les problèmes environnementaux et écologiques reliés au rôle éventuel de l'ouvrage seront étudiés. Ces problèmes comprennent les processus qui influent sur la durée de la vie utile d'un réservoir (limonage et érosion) et ceux qui concernent l'efficacité d'un réservoir en égard à son rôle, comme par exemple le maintien des populations de poissons dans les régions où des possibilités de pêche sportive et commerciale étaient comptées au nombre des avantages que doit fournir l'ouvrage.

Autant que possible, nous nous sommes limités aux questions susceptibles d'intéresser les Canadiens. Les questions comme l'influence des retenues d'eau sur la transmission de certaines maladies, qui intéressent certaines régions de la planète, nous ont semblé relativement insignifiantes dans le contexte canadien; il n'en sera pas question ici. Nous avons également évité d'aborder les problèmes généraux de l'aménagement des masses d'eau naturelles et artificielles. Un de ces problèmes est le rejet de la chaleur excédentaire des centrales thermoélectriques. Cette question a fait l'objet d'une étude exhaustive dans deux rapports récents (James F. MacLaren Limited 1975 et 1977). Dernièrement, la croissance de l'exotique *Myriophyllum spicatum* d'Eurasie, dans certaines régions du Canada, a provoqué beaucoup d'inquiétude: la plante est apparue dans les lacs Kowartha, qui sont étroitement surveillés et peuvent être considérés comme des réservoirs. Cependant, ce problème n'est pas propre aux réservoirs mais plutôt à toutes les eaux peu profondes et à faible débit. La question fait l'objet de recherches nombreuses à l'heure actuelle.

Nous avons voulu mettre l'accent sur les considérations pratiques plutôt que sur les questions d'intérêt purement théorique. Cependant, quelques concepts d'écologie générale d'une application relativement large pourront être mentionnés à l'occasion à cause de la lumière qu'ils jettent sur nombre des conséquences des retenues. L'un de ces concepts est l'écotone, la zone frontière entre deux habitats, comme le bord des lacs et des rivières. Les lecteurs ont probablement constaté la riche diversité des organismes vivant dans de telles zones. Une autre très importante région de ce type est l'estuaire, l'écotone entre l'eau douce et l'océan. Ces deux types d'habitats sont très vulnérables à toute forme de manipulation des cours d'eau ou des lacs qui leur sont reliés.

Un autre concept utile est la stabilisation « pulsée ». Il s'agit du maintien de la stabilité écologique à long terme par des perturbations périodiques. L'entretien d'une pelouse grâce à une coupe régulière est un exemple courant. Les écosystèmes situés le long des cours d'eau sont en grande partie maintenus dans leur état normal par des inondations périodiques, et si le régime d'inondation est modifié, l'écosystème l'est également. Les effets de ce genre sont à l'origine des changements survenus dans le delta La Paix-Athabasca après la construction du barrage W. A. C. Bennett. La modification du régime d'inondation en amont du barrage crée des changements dans cette région également. Voir Odum (1971) pour une discussion de ces concepts.

Il est peut-être utile d'attirer l'attention sur certaines des différences qui existent entre les écosystèmes des cours d'eau et ceux des eaux stagnantes. Puisque nombre des organismes qui vivent dans les cours d'eau ne peuvent survivre dans les eaux stagnantes (et vice versa), lorsqu'un cours d'eau est retenu, nombre des organismes qui y vivent disparaissent et sont remplacés par d'autres formes de vie. Les larves de la mouche noire *Simulium*, par exemple, ne vivent que dans l'eau courante, de sorte que lorsqu'un cours d'eau est retenu, il est probable que la population de ces pestes soit réduite dans la région. Cela s'est produit au lac Diefenbaker (Fredeen 1977). Par contre, il peut y avoir une augmentation des populations de moustiques, qui se reproduisent dans l'eau stagnante.

En outre, la source ultime de l'énergie qui alimente les écosystèmes des eaux stagnantes est la photosynthèse au sein de la masse d'eau, surtout par le phytoplancton, tandis que les écosystèmes d'eau courante sont nourris en grande partie par les déchets organiques provenant des plantes terrestres situées dans le bassin hydrographique (Hynes 1975). La conversion d'un cours d'eau en

lac est par conséquent un changement beaucoup plus radical qu'il n'y paraît à l'observateur non averti (McLachlan 1977).

Il peut également être utile de se rappeler que les effets environnementaux d'un barrage en amont et en aval révèlent une certaine symétrie ou une certaine complémentarité. Une diminution de la variation annuelle du niveau de l'eau en aval d'un barrage est reliée à une augmentation des fluctuations annuelles en amont; la sédimentation en amont du barrage entraîne l'érosion en aval; la conservation de la chaleur dans l'eau retenue entraîne le refroidissement de l'eau en aval et ainsi de suite.

Organiser ces divers sujets en un tout concis, clair et systématique, n'est pas facile. Tout effet primaire d'une retenue (comme l'inondation d'une région donnée) peut entraîner des effets très divers, certains pouvant être très éloignés, par des chaînes de causes et d'effets, de l'effet primaire. En outre, n'importe quel effet qui intéresse les populations humaines peut être le résultat d'un réseau, plutôt que d'une chaîne, de causes intermédiaires qui peuvent parfois être contradictoires. Les effets importants vont des conséquences simples et directes de la retenue des eaux, comme la perte de terres agricoles et de peuplements d'arbres, aux effets subtils et peut-être difficiles à prévoir, comme les changements qualitatifs et quantitatifs des populations de poissons en amont et en aval d'un barrage. Les conséquences diffèrent également en ampleur : elles vont de celles dont la gravité peut être mesurée objectivement d'une manière incontestée (la perte de terres agricoles et de peuplements forestiers peut être fournie en exemple) jusqu'à celles qui peuvent sembler banales pour certains, tout en étant sources d'inquiétude considérable pour d'autres, comme par exemple la disparition possible d'une espèce relativement obscure de plante ou d'animal (Holden 1977) ou la destruction de l'écosystème des embruns en aval d'une chute par la déviation du cours d'eau en amont (Brassard et coll. 1971).

Après une description des types de barrages, nous aborderons les conséquences générales géographiques, physiques, chimiques et biologiques de la construction d'un barrage, autant en amont qu'en aval; puis nous traiterons de leur mode d'action très complexe sur les populations de poissons. Enfin, nous aborderons certains des effets qui peuvent être ressentis dans le voisinage des barrages et retenues d'eau et qui ne sont pas nécessairement limités au nouveau lac ou cours d'eau.

Nous avons tenté de présenter nos données de façon intelligible, voire intéressante, plutôt que

d'imposer un cadre rigide, qui serait d'ailleurs pratiquement impossible par suite de la complexité des informations. À l'heure actuelle, tout examen des effets des retenues d'eau est nécessairement provisoire. Les études actuellement en cours à plusieurs endroits, surtout peut-être celles qui concernent les divers emplacements du projet de la baie James, devraient fournir des résultats d'une valeur inestimable pour les travaux futurs.

### Les types de barrages et de retenues, et leurs buts

Le type de barrage construit en un endroit quelconque dépend de facteurs comme son utilisation éventuelle et la nature et la situation du site. Les barrages en terre ou en enrochement sont des talus généralement composés d'un cœur de matériaux imperméables dont la pente est douce en amont et en aval. Les barrages-poids sont en général faits de béton et sont maintenus en place par la force de la pesanteur (fig. 3). La face en amont est presque verticale et la face en aval forme un pied pour éviter le renversement. Les barrages-voûtes et les barrages à contreforts sont également faits de béton en général, mais sont plus étroits que les barrages-poids. Ils sont maintenus en place soit par la force des eaux contre les butées (barrages-voûtes) soit par un nombre de



FIG. 3 Barrage Moses-Saunders sur le Saint-Laurent (photo Hydro Ontario).

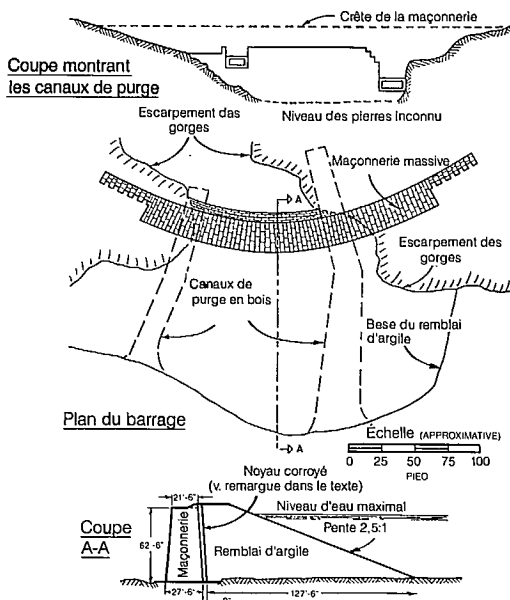


FIG. 4 Dessin du barrage de Jones Falls, du type barrage-voûte (d'après Legget 1961).

contreforts opposés en aval. Les barrages-voûtes sont en général verticaux sur les deux faces, tandis que les barrages à contreforts peuvent pencher vers l'aval. La figure 4 montre un diagramme d'un barrage-voûte.

Les barrages sont en général dotés de déversoirs qui permettent à l'eau de sortir du réservoir au moment des crues sans endommager la structure. Pour permettre l'évacuation d'eau lorsque le niveau est au-dessous du déversoir, on construit en général un purgeur et, si le barrage fait partie d'un projet hydro-électrique, une conduite forcée doit être construite pour amener l'eau aux turbines. Les purgeurs et conduites forcées prennent souvent l'eau en un point très inférieur à la surface du réservoir. Ces canalisations peuvent traverser le barrage ou la colline adjacente.

La raison la plus courante pour la construction d'un barrage est probablement l'emmagasinement de l'eau en période de crue et son déversement lorsque le débit est faible. Le barrage peut être construit pour contrôler les inondations, maintenir la navigation sur la rivière, produire de l'électricité, assurer un approvisionnement fiable en eau domestique, industrielle ou agricole, ou, plus souvent, pour plusieurs de ces raisons. Le type d'ouvrage le plus spectaculaire comporte la construction d'un barrage sur une rivière impor-

tante, provoquant l'inondation d'une région considérable et transformant un tronçon de cours d'eau en une masse d'eau stationnaire. De tels réservoirs ont presque invariablement la production d'électricité au nombre de leurs objectifs, bien que le réservoir Gouin de la rivière Saint-Maurice au Québec, qui pendant bien des années a été le plus grand lac artificiel du monde, ait été construit à l'origine pour faciliter le transport des billes de bois.

Ce ne sont pas tous les ouvrages hydro-électriques qui emmagasinent des quantités considérables d'eau. Si le débit d'une rivière est relativement constant pendant toute l'année, soit de façon naturelle ou grâce à une régularisation du débit en amont, un barrage peut servir principalement à créer un potentiel hydraulique et acheminer l'eau dans une conduite forcée. Les barrages de ce type, qui exploitent le débit naturel d'un cours d'eau, sont appelés barrages au fil de l'eau. Un grand nombre de rivières sont régularisées sur toute leur longueur par une série de barrages en cascade, de sorte que tout le potentiel hydraulique est utilisé. Souvent, le barrage le plus en amont emmagasine l'eau tandis que les barrages en aval sont au fil de l'eau. Les trois barrages de la partie canadienne de la rivière Saint-Jean constituent une cascade, et sont à peu près du type « au fil de l'eau ».

À l'autre extrémité, un lac naturel peut être transformé en réservoir par régularisation de son débit. Si le lac est petit, l'impact du projet sur le lac peut être lourd de conséquences. Cependant, les lacs de grande taille comme le lac Lake-of-the-Woods et le lac Saint-Jean, qui sont techniquement des réservoirs dans ce sens, sont peu touchés par un tel traitement.

Bien des ouvrages importants, comme ceux des chutes Churchill au Labrador, de la baie James au Québec et de Churchill-Nelson au Manitoba, comportent la création de nouvelles masses d'eau stationnaires et la modification des masses déjà existantes, et leurs conséquences sont naturellement complexes.

Nombre de projets exigent non seulement la retenue des eaux, mais la déviation des cours d'eau, parfois même vers un bassin hydrographique différent. La déviation d'un cours d'eau peut être faite pour des raisons autres que la retenue des eaux, et il a parfois été difficile de limiter le débat. Dans ce qui suit, nous allons mettre l'accent sur les déviations qui sont directement reliées à la retenue des eaux.

En général, l'eau est retenue immédiatement en amont d'un barrage, de sorte que si un nouveau bassin est formé, il comprend une partie du lit du cours d'eau original. Parfois, surtout lorsque l'eau est emmagasinée à des fins domestiques ou indus-

trielles, elle peut être déviée d'un cours d'eau vers un bassin naturel ou artificiel pour former un réservoir hors-circuit.

Un type particulier de centrale hydro-électrique, la centrale à réserve pompée, a pris de plus en plus d'importance aux États-Unis (American Fisheries Society 1976). Dans une telle centrale, une partie de l'électricité produite sert à pomper l'eau pour produire plus d'électricité ultérieurement. De telles centrales ne sont pas encore exploitées au Canada, bien que quelque chose de semblable soit en utilisation aux chutes Niagara, où la quantité d'eau qui peut être retirée est fixée par traité international et où il est permis d'en prélever plus la nuit que le jour. Pendant la nuit, par conséquent, l'eau est déviée et pompée dans un réservoir hors-circuit (Friesen et Day 1977).

Dans certains cas, la formation d'une nouvelle masse d'eau stationnaire est le principal objectif du projet. Nous citerons en exemple la construction d'un bassin de refroidissement pour une centrale thermoélectrique comme celle d'Estevan (Saskatchewan), ou la construction d'un bassin pour poissons sur les petits cours d'eau côtiers de l'Île-du-Prince-Édouard.

La retenue et la régulation des eaux salées s'accompagnent d'un ensemble de problèmes différents de ceux qui sont reliés à la retenue des eaux douces. Jusqu'ici, au Canada, la retenue des eaux salées n'a été qu'accidentelle, le résultat de la construction de ponts ou de chaussées traversant des estuaires ou des baies. Cependant, il est fort possible que la retenue d'une quantité im-

sante d'eau salée soit tentée dans la baie de Fundy afin d'utiliser les marées pour la production d'électricité (Clark 1978; Daborn 1977; Gordon et Longhurst 1979).

### Les effets des inondations et la question du déboisement préalable

L'étendue approximative de l'inondation sera probablement connue après la réalisation des études faites avant la construction du barrage. Les pertes économiques dues à l'inondation des terres agricoles ou des peuplements forestiers exploitables doivent pouvoir être calculées avec une précision raisonnable par des experts agricoles ou forestiers. Les pertes économiques peuvent dépasser la limite des terres inondées; l'utilité et la valeur des terres adjacentes aux terres inondées peuvent être réduites, par exemple, si une vaste étendue est divisée en un certain nombre de terrains plus petits.

Si les arbres ne sont pas récoltés avant l'inondation, ils ne sont pas totalement perdus, parce qu'il existe des techniques de récoltes utilisables après le remplissage du réservoir. La décision de couper les arbres avant le remplissage du réservoir sera probablement basée non seulement sur la valeur de ces arbres, mais aussi sur l'utilisation du réservoir. Si le réservoir doit servir à des promenades en bateau, il est probablement nécessaire de couper les arbres même s'ils n'ont pas de valeur marchande. À certains endroits, la coupe préalable des arbres peut s'avérer nécessaire pour des



FIG. 5 Îlots flottants de *Sphagnum* dans la région inondée par la déviation de la rivière Churchill (Institut des eaux douces, photo G. McCullough).

raisons esthétiques. Dans les réservoirs du projet de la baie James, on a choisi de déboiser les régions visibles de la route, à l'embouchure des affluents, et aux endroits où une pêche intense est probable (Bollulo 1978).

La Société d'énergie de la Baie James effectue depuis quelque temps des expériences sur le déboisement des réservoirs par les agents naturels comme le vent et la glace. Lorsque les arbres submergés sont emprisonnés dans la glace et que le niveau de l'eau est réduit, la force exercée sur ces arbres suffit à briser des troncs de taille considérable, qui peuvent ensuite être retirés de l'eau après le dégel (Bollulo 1978).

Dans les zones de pergélisol inondées, il importe peu que les arbres soient coupés ou non, puisqu'ils seront de toute façon emportés dans l'eau lorsque la nouvelle berge fondra puis s'abaissera (pages 13 et 14). Dans les autres régions, les plantes submergées peuvent servir à stabiliser la berge.

Les arbres totalement submergés résistent longtemps aux températures qui prévalent dans les eaux canadiennes. Les troncs des arbres submergés dans le réservoir Gouin n'avaient subi aucun changement 55 ans après le remplissage (Inrs-Eau 1973).

Si les zones inondées comprennent des marécages de *Sphagnum*, ces marécages peuvent s'élever pour former des îles flottantes (fig. 5) qui peuvent survivre plusieurs années. Dans le projet de la baie James, on étudie la possibilité de remorquer ces îles près de la rive et de les ancrer pour servir de refuges à la faune et aux oiseaux aquatiques (Société d'énergie de la Baie James 1978a).

L'évaluation des pertes de faune dues à l'inondation des habitats est peut-être plus difficile, mais elle reste possible si l'on dispose du temps et des ressources nécessaires pour effectuer les études qui s'imposent. L'importance accordée à la perte de la vie animale dans les prises de décisions, varie d'une région à l'autre. En général, c'est dans les plaines centrales et en particulier dans les vallées des rares rivières qui les parcourent et qui constituent pratiquement le seul habitat pour les ongulés, que se pose le problème de la faune, beaucoup plus que dans les forêts de l'est et de l'ouest; c'est également dans les régions où la chasse et le piégeage sont importants pour l'économie locale plutôt que dans les régions où cela n'est pas le cas; c'est enfin à proximité des populations urbaines qui peuvent par conséquent être privées d'une ressource récréative très appréciée, plutôt que dans les régions éloignées. La vallée Skagit de la Colombie-Britannique peut servir d'exemple de ce dernier cas (Adams et coll. 1971).

L'écotone de la berge est un habitat important pour bien des espèces. Dans la région de la baie James, par exemple, cette région fournit de la nourriture et un abri aux lagopèdes (*Lagopus lagopus*), aux castors (*Castor canadensis*), aux rats musqués (*Ondatra zibethica*) et à diverses espèces d'oiseaux aquatiques. Il s'ensuit que l'étendue linéaire de l'inondation du rivage peut être aussi importante, du point de vue de son influence sur la faune, que sa superficie. La création d'un nouvel habitat en rivage prendra d'autant plus de temps que le climat est rigoureux, et sera probablement ralentie par la pratique du rabattement de la nappe d'eau (voir chapitre suivant).

Au cours du remplissage de certaines grandes retenues d'eau dans les zones tropicales, on a organisé des opérations de sauvetage à grande échelle pour rescaper autant d'animaux que possible dans les régions qui devaient être submergées (Walsh et Gannon 1967). De toute évidence, cela n'est possible que si l'on dispose d'une région sous-peuplée qui peut recevoir les animaux en question. On a tenté de déplacer les castors dans les régions submergées par le projet de la baie James (Gauquelin 1978). En général, il semble raisonnable de «récolter» autant d'animaux économiquement utiles que possible avant l'inondation et simultanément, de veiller à éviter la destruction des populations d'espèces rares ou en voie de disparition, ou d'habitats uniques ou d'un intérêt particulier.

L'inondation peut menacer des sites archéologiques ou historiques. Lorsqu'on a construit le barrage d'Assouan en Égypte, on a dû organiser une opération internationale complexe et coûteuse pour déplacer vers les terres hautes les temples et monuments qui auraient autrement été submergés (Keating 1975). Le Canada n'a pas de tels problèmes, mais plusieurs endroits qui ont été habités par l'homme préhistorique et l'homme des débuts de l'histoire, se trouvent près de cours d'eau et deviendraient inaccessibles si le niveau de l'eau était élevé. De telles considérations ont été retenues par le Lake Winnipeg, Churchill and Nelson Rivers Study Board (1975). La zone à submerger doit être inspectée par des archéologues dans le but de trouver les sites menacés et de faire des fouilles dans les lieux susceptibles de fournir des renseignements importants. Bien des peintures rupestres et des pétroglyphes (fig. 6) se trouvent près de l'eau et, aux États-Unis, nombre de ces objets ont déjà été perdus par suite de la construction d'un barrage (Grant 1967). On pourrait envisager le déplacement des peintures menacées vers des terres plus hautes.



FIG. 6 Pétroglyphes près de Peterborough (Ontario) (photothèque ONF, photo Jeanne White).

L'augmentation du potentiel hydraulique par suite de la retenue d'un cours d'eau, force souvent plus d'eau dans les formations aquifères sous-jacentes. Bien que cela constitue une perte d'eau du réservoir, cela peut être souhaitable dans certaines conditions, surtout dans les régions arides, puisqu'une eau potable ou d'irrigation peut être disponible à une certaine distance du réservoir (Lagler 1969).

Dans les régions humides cependant, cela n'est probablement pas souhaitable. L'élévation de la nappe phréatique peut saturer le sol et par conséquent tuer les arbres situés autour du réservoir. La vitesse de l'élévation de la nappe phréatique, qui peut prendre plusieurs années, ainsi que la nature et l'étendue des changements opérés dans le sol et la végétation, changements qui peuvent se faire sentir à 1 km ou plus du réservoir, dépendent de la hauteur antérieure de la nappe phréatique, de la nature et de la perméabilité du sol, de la nature du terrain et de facteurs similaires (Avakyan 1975). Si la qualité de l'eau retenue est médiocre, la qualité de l'eau des formations

aquifères peut en souffrir (Hoffman et Meland 1973).

Ce sujet a reçu relativement peu d'attention au Canada. Une étude relativement complète de l'influence du lac Diefenbaker sur les eaux souterraines adjacentes a été faite par van Everdingen (1967, 1972), mais il semble qu'on ait porté très peu d'attention aux questions environnementales plus générales.

#### **Les problèmes dans la zone de rabattement du plan d'eau**

L'exploitation d'une station hydro-électrique exige normalement que le réservoir soit rempli quand le débit du cours d'eau est élevé, et progressivement vidé en passant par les turbines pour le reste de l'année. Au Canada, cela veut dire que le réservoir est rempli à la fin de l'hiver ou au début ou à la fin du printemps, quelle que soit la période de la fonte de la neige à la source des cours d'eau; puis le niveau baisse progressivement au cours de l'été, de l'automne et de la majeure partie de

l'hiver. Cela pose certains problèmes. Dans des conditions naturelles, le niveau maximal de l'eau dans les cours d'eau et les lacs ne dure que peu de temps, et se met à baisser avant que la saison de croissance ne soit bien avancée, de sorte que les rives sont couvertes, au cours de l'été, d'une végétation caractéristique; cependant, dans un réservoir, le niveau de l'eau peut rester élevé même à un stade avancé de la saison de croissance, de sorte qu'il peut être entouré, pour une grande partie de l'année, d'une large zone pratiquement déserte, particulièrement lorsque le relief du terrain qui l'entoure est relativement plat et, par conséquent, que la variation latérale de la position de la rive est importante (fig. 7). Des écologistes suédois, qui ont étudié ces problèmes, nomment cette zone « l'aridale » (Lindström 1973). Dans ces conditions, la restauration de l'écotone littoral est très difficile. Cette région offre un spectacle désagréable et peut produire, par temps sec et venteux, des quantités désagréables de poussière.

Dans les climats relativement doux, l'apparence de la zone de rabattement du plan d'eau, peut être améliorée en y plantant des arbustes et des arbres qui résistent à l'inondation. On a fait des expériences dans ce domaine en Angleterre (Gill et Bradshaw 1971) et dans le sud des États-Unis (Fowler et Hammer 1976; Fowler et Maddox 1974). Il existe une étude du sujet (Gill 1977) qui devrait être applicable dans une certaine mesure aux conditions canadiennes. La British Columbia Hydro and Power Authority

(1978) a expérimenté l'ensemencement de la zone de rabattement du plan d'eau pour diminuer les quantités de poussière. La restauration d'un habitat littoral convenable pour la faune, surtout aux latitudes élevées, semble plus difficile. Les expériences en cours dans la région de la baie James (Bollulo 1978) pourront peut-être fournir des éléments de solution à ce problème.

Le rabattement du plan d'eau crée d'autres problèmes, surtout en période de frai. Il en sera question dans le chapitre sur les effets biologiques.

### Retenues et qualité des eaux

La retenue des eaux peut en améliorer la qualité, en permettant le dépôt des matières en suspension, la désintégration de certaines matières dissoutes, et la diminution du nombre de bactéries (Purcell 1939). Par contre, elle peut nuire à la qualité des eaux de plusieurs manières. Les éléments nutritifs pour végétaux et autres substances inorganiques dissoutes peuvent être lessivés du sol submergé et libérés par la décomposition de la végétation submergée. Si la région qui doit être submergée a été déboisée et si les rémanents ont été incinérés sur place, les cendres peuvent également constituer une source de substances inorganiques dissoutes. Si le bassin hydrographique a été complètement déboisé, le lessivage accru du sol peut augmenter la quantité totale de solides dissous dans le réservoir. Kelly (1978) a souligné l'importance de ces facteurs pour la qualité des



FIG. 7 Le barrage Shand, un barrage-poids en terre, et le réservoir Belwood, sur la rivière Grande près de Guelph (Ontario); on peut voir la zone de rabattement du plan d'eau (photo R.M. Baxter).



eaux dans les lacs touchés par le projet hydro-électrique de Wreck Cove en Nouvelle-Écosse. Dans le réservoir Smallwood au Labrador, qui est beaucoup plus étendu, des quantités importantes de phosphore ont été lessivées du terrain submergé (Ostrofsky et Duthie 1978; Ostrofsky 1978). Le projet du lac Southern Indian dans le nord du Manitoba, semble avoir provoqué une modification de la qualité de l'eau, notamment une augmentation du phosphore total, autant dans le bas de la rivière Churchill, dont le débit a été réduit, que dans la rivière Burntwood, dont le débit a été accru (Guilbault et coll. 1979).

Un tel apport d'éléments nutritifs pour les plantes peut entraîner l'augmentation des populations de phytoplancton et d'algues fixées (fig. 8) et un accroissement de la production primaire dans les eaux touchées. Ostrofsky et Duthie (1978) ont trouvé que la productivité primaire du réservoir Smallwood était supérieure à celle des lacs naturels avoisinants. Par contre, à Wreck Cove, Kelly (1978) n'a pas constaté d'augmentation de la productivité malgré un apport supplémentaire considérable d'éléments nutritifs; il a attribué ce fait à une augmentation parallèle de la turbidité, qui a diminué la quantité de lumière disponible pour la photosynthèse, et à l'absorption d'éléments nutritifs sur des particules de sédiments.

Les substances toxiques peuvent également être lessivées d'un sol nouvellement submergé. Dans une étude récente faite en Caroline du Nord, Abernathie et Cumbie (1977), comparant les quantités de mercure dans les tissus d'achigans à grande bouche (*Micropterus salmoides*) pêchés dans trois retenues, ont trouvé que les poissons tirés de la retenue la plus jeune contenaient les plus fortes concentrations de mercure, et ceux provenant de la plus ancienne, les concentrations les plus faibles. Des observations semblables ont été faites dans le cadre d'une étude portant sur un réservoir d'approvisionnement d'eau dans l'Illinois (Meister et coll. 1979). La concentration de mercure dans l'eau restait faible, mais l'élément pénétrait dans la chaîne alimentaire par l'entremise des activités des microorganismes du sol et éventuellement s'accumulait dans les poissons. Au Canada, des quantités de mercure surprenantes ont récemment été trouvées dans les poissons provenant du réservoir Smallwood au Labrador, et du lac Southern Indian au Manitoba, suite à l'augmentation du niveau de l'eau résultant de la déviation de la rivière Churchill (Bodaly et Hecky 1979), bien que le mercure n'ait jamais été produit ou utilisé à des fins industrielles dans l'une ou l'autre de ces régions.

Les effets de ce genre sont provisoires et diminuent à mesure que le réservoir mûrit. Dans les petits réservoirs, il est possible d'accélérer le processus de maturation en enlevant la couverture de sol avant le remplissage du réservoir. Les scientifiques de l'INRS-Eau de Québec (Campbell et coll. 1975-1976) ont étudié les effets du retrait de la couverture de sol sur la qualité de l'eau des réservoirs d'approvisionnement. Une étude assez comparable des effets de divers sols de la Saskatchewan sur la qualité des eaux a été faite à l'Université de la Saskatchewan (Davis et coll. 1973).

La retenue de l'eau a des effets sur la qualité de cette dernière, effets cependant, qui persistent, puisqu'ils émanent de la structure et du mode d'exploitation des réservoirs. Dans les régions tempérées, les lacs naturels d'une profondeur suffisante sont le siège d'une stratification thermique très nette pendant les mois d'été: un épilimnion chaud est séparé d'un hypolimnion plus froid par un thermocline étroit. Lorsque le lac se refroidit en automne et en hiver, l'eau est d'abord brassée, puis elle se stratifie de façon différente, les niveaux inférieurs étant à une température de densité maximale (4°C) et l'eau au-dessus étant plus froide (jusqu'à 0°C). Au printemps, l'eau est encore une fois brassée et la stratification du type estival est rétablie. Puisqu'un lac naturel se déverse toujours en surface, l'eau d'un cours d'eau près du lac est relativement chaude pendant l'été et proche du point de congélation pendant l'hiver.

Une situation beaucoup plus complexe peut se produire, lorsque, particulièrement dans les réservoirs, l'eau est prélevée d'une conduite forcée située bien en-dessous de la surface. Des systèmes complexes de courants horizontaux rarement ou jamais vus dans les lacs naturels peuvent être créés de cette manière. Si l'eau qui arrive est plus dense, par suite de sa température ou de la charge de matières dissoutes ou en suspension, que l'eau de surface du réservoir, elle peut conserver ses caractéristiques sur une distance considérable dans le réservoir sans beaucoup se mélanger avec l'eau qui s'y trouve déjà, ou même la traverser directement, tandis que l'eau se trouvant autour se déplace très peu. Si un thermocline se développe, il peut être incliné (Kittrel 1959). Si la face amont du barrage est verticale ou presque, une masse d'eau stagnante peut s'accumuler au fond du réservoir, contre la face du barrage (Fiala 1966). La décomposition des matières organiques déjà présentes sur le sol submergé, ou pénétrant dans l'hypolimnion grâce au dépôt des organismes planctoniques de l'épilimnion, peut provoquer un appauvrissement en oxygène dissous près du fond du réservoir et une augmentation de la concentra-



FIG. 8 Croissance d'algues sur des plantes submergées, lac Southern Indian (Institut des eaux douces, photo R. Hecky).

tion des substances réduites comme les ions sulfures, ferreux, manganéux. Si l'eau de qualité médiocre qui en résulte est ensuite déversée par une conduite forcée située en profondeur, elle peut parcourir plusieurs kilomètres au fil de l'eau avant d'être suffisamment réoxygénée pour reprendre sa qualité originale. On s'intéresse depuis longtemps à cette question dans les réservoirs de la Tennessee Valley Authority (Kittrell 1959) et dans d'autres régions chaudes des États-Unis (Hannan et coll. 1979).

La situation peut parfois être corrigée dans les retenues relativement petites, en brassant, par conséquent en déstratifiant, la masse d'eau. L'énergie nécessaire à cette fin peut être calculée, puisqu'elle est équivalente au travail que représenterait l'élévation du centre de gravité de la masse d'eau stratifiée à la position qu'il occuperait si l'eau était d'une densité uniforme (Ruttner 1963). Au Canada, P. H. Bouthillier et ses collègues de la faculté de Génie civil de l'Université de l'Alberta, poursuivent des recherches dans ce domaine (Bouthillier et Hrudehy 1979).

La qualité des eaux situées dans les réservoirs du projet de la baie James changera probablement. On a fait des études préliminaires sur un petit réservoir et on a constaté une augmentation des éléments nutritifs et un appauvrissement en oxygène (Soucy 1978b).

Le retrait d'une quantité d'eau de l'hypolimnion peut également modifier les caractéristiques thermiques d'un cours d'eau en aval d'un barrage, le rendant plus froid en été et plus chaud en hiver

que l'eau qui quitte de façon naturelle l'épilimnion d'un lac naturel. Cette question a reçu beaucoup d'attention aux États-Unis (Park et Schmidt 1973; Wunderlich et Elder 1973; Troxler et Thackston 1977; Burt 1974). Ces travaux devraient être applicables pour la plupart, dans une certaine mesure, à la situation canadienne. Au Canada, les recherches qui concernent spécifiquement le comportement thermique des réservoirs en climat froid ne font que commencer (Rahman 1978). Le projet hydro-électrique de la baie James a suscité d'autres études du même type (Marcotte 1977; Soucy 1978a, b, c). Les effets peuvent être importants : on prévoit que le barrage LG 2 construit sur la rivière Grande Rivière abaissera d'environ 7°C la température maximale en aval et élèvera d'au moins 2°C environ la température minimale, et retardera les températures maximales d'environ un mois.

Le refroidissement en aval peut être réduit ou supprimé par une déstratification artificielle (Burns 1977) ou en construisant des conduites forcées à plus d'un niveau pour permettre de prélever de l'eau chaude ou froide au besoin. Il est techniquement possible d'installer une prise d'eau de haut niveau sur un barrage achevé doté d'une prise d'eau en profondeur (Peters 1979). On a fait récemment une proposition intéressante : il serait possible d'exploiter le gradient des températures entre l'hypolimnion et l'épilimnion pour la production d'une énergie supplémentaire grâce à l'utilisation d'un moteur thermique approprié (McNichols et coll. 1979).

Les réservoirs non stratifiés peu profonds, surtout ceux qui sont situés sur des cours d'eau alimentés par des eaux souterraines froides, et les réservoirs plus profonds, lorsqu'ils se déversent par l'épilimnion, sont susceptibles de réchauffer plutôt que de refroidir le cours d'eau situé en aval.

Les réservoirs destinés à fournir une eau de refroidissement pour les centrales thermoélectriques, présentent des problèmes particuliers. Parce qu'ils sont construits là où des lacs naturels ne sont pas disponibles, on les trouve en général dans les régions où la précipitation annuelle est faible, où les débits des cours d'eau sont intermittents et où la concentration de solides dissous dans l'eau est relativement élevée. La quantité de solides dissous peut être augmentée par le lessivage des sels des terres submergées et par l'évaporation forcée qui résulte du réchauffement de l'eau. La qualité de l'eau en aval risque alors d'être sérieusement dégradée. Cette possibilité a soulevé des inquiétudes dans le cas du réservoir Boundary à Estevan (Saskatchewan). Cependant, l'effet de l'évaporation forcée est apparemment plus que compensé par l'avantage de la dilution d'une eau de qualité médiocre dans le réservoir par de l'eau contenant peu de solides dissous, au moment du ruissellement printanier, de sorte que la qualité de l'eau en aval du réservoir reste relativement constante et acceptable durant toute l'année (Allan 1978; Allan et Richards 1978).

Si l'eau retenue est utilisée pour l'irrigation et retournée éventuellement à la rivière plus loin en aval, sa qualité peut être sérieusement dégradée par les sels et matières nutritives lessivés du sol. C'est là l'une des principales inquiétudes du Canada en ce qui concerne le grand projet de déviation Garrison dans le Dakota du Nord (Oetting 1977; Weber 1977).

La construction d'un réservoir dans le lit d'une rivière n'est souvent qu'une simple manifestation d'une industrialisation et d'une urbanisation accrues de son bassin. Par conséquent, elle s'accompagne souvent d'une charge importante de déchets industriels et domestiques dans la rivière. L'impact de ces déchets est amplifié par les effets du réservoir, parce que la réduction de la vitesse du courant ainsi opérée, entraîne une réduction de la vitesse d'oxygénation de l'eau et, partant, un ralentissement de l'oxydation des matières organiques étrangères. C'est ce qui semble s'être produit dans la rivière Saint-Jean (Dominy 1973).

Les centrales hydro-électriques peuvent constituer des sources supplémentaires de contaminants de l'environnement. Cela semble s'être produit dans le projet hydro-électrique des chutes Churchill au Labrador, où les concentrations de

polychlorobiphényles (PCB) dans les poissons pris en aval du barrage étaient très supérieures à celles constatées dans les poissons pris en amont (Musial et coll. 1979). Les PCB étaient autrefois utilisés comme liquides isolants dans les transformateurs et autres dispositifs électriques, et il est probable qu'ils se soient échappés d'une centrale de quelque manière, bien que leur source exacte ne soit pas connue.

Un survol de la documentation relative à la qualité des eaux retenues, spécialement pour le cas canadien, a été préparé par Park (1975). La thèse de Kelly (1978) est également un examen utile de la documentation écrite. La mise au point de modèles de simulation pour la prédiction des changements de la qualité des eaux des réservoirs progresse dans diverses parties du monde. Les scientifiques canadiens qui se sont illustrés dans ce domaine comprennent M. P. E. Wisner, de l'Université d'Ottawa et M. E. A. McBean, de l'Université de Waterloo (Hodgins et coll. 1977; McBean et DeLucia 1979).

### **L'érosion, la sédimentation et la modification de la nouvelle rive**

La rive d'une nouvelle masse d'eau est exposée à des forces érosives qui la modifient plus ou moins rapidement, pour atteindre une position d'équilibre. Les facteurs érosifs les plus importants sont l'eau et la glace en mouvement; les eaux souterraines peuvent également jouer un rôle. La vitesse et l'ampleur de l'érosion de la rive dépendent de la nature du matériau qui la compose et de la quantité d'énergie disponible.

L'érosion de la rive des réservoirs en modifie l'utilité de bien des façons. D'abord elle entraîne une augmentation de la surface totale, et par conséquent contribue indirectement à une augmentation du taux d'évaporation. Toutefois, son effet le plus important reste la modification de sa capacité d'emmagasinage. Les modalités de la modification de cette capacité, dépendent de la provenance et de la destination des matières emportées par l'érosion. Si ces matières proviennent d'un point situé au-dessus du niveau maximal de l'eau dans le réservoir, la capacité d'emmagasinage totale sera évidemment diminuée. Le transport des matières d'un point situé entre les niveaux maximal et minimal de l'eau vers les eaux plus profondes, ne modifiera pas cette capacité totale, mais elle augmentera par contre la capacité d'emmagasinage (voir l'étude du lac Diefenbaker par Coakley et Hamblin 1967).

L'érosion peut également entraîner la formation de plages qui peuvent augmenter l'utilité du réservoir à des fins récréatives.

Les ingénieurs et hydrographes ont consacré beaucoup d'efforts à effectuer des calculs pour prévoir l'ampleur de l'érosion dans les réservoirs, en tenant compte de l'importance des forces d'érosion et de la nature du sol de la rive (Kondratjev 1966; Kachugin 1966). Au Canada, ces principes ont été appliqués au lac Diefenbaker par van Everdingen (travaux non datés). Ce dernier a démontré que l'érosion qu'a connue le réservoir au début de son existence, entraînera une diminution importante de la capacité totale d'emmagasinage, mais une augmentation de jusqu'à 7,4 % de sa capacité utile. L'évaporation sera accrue et une zone de fluctuation essentiellement aride de 200 m de largeur sera créée sur les deux côtés du réservoir, avec des bords en pente très douce s'étendant sur une distance allant jusqu'à 90 m de la ligne du niveau minimal.

Au Canada, on s'intéresse particulièrement à l'évolution des rives des réservoirs situés sur le pergélisol et on lui consacre une attention toute spéciale. La limite sud du pergélisol continu dans l'ouest du Canada est représentée approximativement par une ligne partant de la frontière ontario-manitobaine, passant juste au sud de la baie d'Hudson et rejoignant le cercle arctique à la frontière de l'Alaska. Dans l'est du Canada, le pergélisol continu n'existe qu'au bout de la péninsule de l'Ungava. Le pergélisol discontinu, cependant, peut se produire partout au nord d'un arc partant de l'extrémité est du Labrador vers l'ouest jusqu'au sommet de la baie James, puis vers le nord-ouest jusqu'au 60° parallèle, à peu près au point de rencontre de la Colombie-Britannique, du Yukon et de l'Alaska. Par conséquent, c'est dans une partie considérable du pays qu'il existe au moins la possibilité de la présence du pergélisol. Déjà, un projet, celui du développement Churchill-Nelson au Manitoba, prévoit l'inondation de zones très étendues de pergélisol, et il est raisonnable de prévoir que de tels projets seront entrepris à l'avenir (il y a peu de pergélisol ou pas du tout dans la région visée par le projet de la baie James).

Les événements qui suivent l'inondation du pergélisol ont été étudiés par Newbury et ses collègues (Newbury et Malaher 1972; Newbury et coll. 1978) au lac Southern Indian dans le nord du Manitoba. Le niveau du lac fut élevé d'environ 2 m à cause de la déviation de la rivière Churchill, inondant environ 600 km<sup>2</sup> de terres avoisinantes et créant environ 2 900 km de rivage. L'endroit se trouve sur le Bouclier canadien, et une partie du rivage est constituée de roche mère, nue ou recouverte d'une couche organique. Une grande partie du rivage, cependant, est faite d'argiles fines à varves, recouvertes pour la plupart

d'une couche organique. On trouve du pergélisol dans une bonne partie de cette région.

Lorsque le niveau de l'eau fut élevé, le rivage s'éroda très rapidement. Typiquement, une fente apparaissait au bord de l'eau juste au-dessus et en dessous du plan d'eau, par suite des effets cumulés de l'érosion mécanique due aux vagues et de la fonte et de la liquéfaction (solifluxion) de l'argile gelée. À mesure que la fente s'approfondissait, le sol sus-jacent, ainsi que les arbres et autres plantes qui y étaient enracinés, tombaient dans le lac, puis le processus se répétait (fig. 9). Dans certaines régions, le rivage recula de 12 m en une seule saison, libérant dans l'eau environ 20 m<sup>3</sup> de matière par mètre de rivage. Il y a une différence frappante entre ces rivages affaîsés et les nouveaux rivages de roche mère qui ont été partiellement déboisés avant l'inondation et qui ne peuvent être distingués des rivages naturels. Le processus d'érosion sera ralenti dans une certaine mesure par l'action protectrice de la barrière produite par les arbres tombés, mais il semble qu'il se poursuivra jusqu'à ce que le rivage recule jusqu'à la roche mère ou est recouvert de gravier ou de grosses pierres.

Il s'agit d'un nouveau domaine de recherches, car les études très détaillées du pergélisol faites au Canada (Brown 1970) n'ont pas tenu compte des problèmes reliés aux réservoirs. Il y a lieu d'encourager par tous les moyens des recherches plus poussées dans ce domaine, si l'on veut étendre vers le nord la construction des installations hydro-électriques.

Une partie importante du nord de l'Union soviétique se trouve en zone de pergélisol, et l'U.R.S.S. y a construit des ouvrages importants, notamment des réservoirs. Cependant, les conditions canadiennes diffèrent beaucoup des conditions soviétiques. En effet, la majeure partie de l'Arctique canadien a été recouverte de glace au cours du Pléistocène. Sous la couche de glace, il y avait une couche relativement mince de pergélisol, dont une bonne partie s'est dissipée sous les inondations considérables qui ont suivi le retrait de la glace, et qui ne s'est réformée qu'après le retrait de l'eau. Par contre, une partie importante de l'Arctique soviétique n'a pas été recouverte de glace, et il s'est formé une couche de pergélisol beaucoup plus épaisse, qui est restée. La zone de pergélisol s'étend plus loin au sud dans l'hémisphère Est que dans l'hémisphère Ouest, et la couche de sol non gelé qui se trouve au-dessus est plus épaisse. Les problèmes auxquels les ingénieurs canadiens doivent faire face, par conséquent, sont assez différents de ceux que doivent résoudre leurs homologues soviétiques.



FIG. 9 Érosion et affaissement d'un nouveau rivage sur pergélisol, lac Southern Indian (Institut des eaux douces, photo G. McCullough).

La sédimentation, comme l'érosion, est d'un grand intérêt pour les ingénieurs spécialistes en réservoirs, par suite de son influence sur la capacité d'emmagasinage et la vie utile du réservoir. Une étude de la question, visant particulièrement le Canada, a été faite en 1973; on peut l'obtenir facilement et elle reste toujours valable dans l'ensemble (Wiebe et Drennan 1973), de sorte qu'il nous semble suffisant de ne donner ici qu'une brève description des points majeurs. La quantité de sédiments transportée par un cours d'eau dépend de la quantité de sédiments qui y pénètre. Cette dernière, par ailleurs, est déterminée par l'importance et la nature du bassin hydrographique et de l'utilisation qu'on fait des terres qu'il contient, et de la capacité de transport des sédiments du cours d'eau; enfin, cette dernière dépend de la vitesse et de la turbulence du cours d'eau. Quand le débit diminue, le sédiment est déposé selon la taille des particules, mais dans les réservoirs (par opposition aux lacs naturels), la distribution des matières dans l'espace est conditionnée en grande partie par le rabattement du plan d'eau, parce que le sédiment déposé lorsque le niveau d'eau est élevé est emporté par l'érosion et déposé ailleurs lorsque le niveau de l'eau est abaissé. Jusqu'à tout dernièrement, on disposait de peu de renseignements sur les taux de perte de la capacité d'emmagasinage des réservoirs par suite de la sédimentation. On sait par exemple que dans le réservoir formé par le barrage Bassano sur la rivière Bow en Alberta, la capacité a été réduite de  $34 \times 10^6 \text{ m}^3$  à  $11 \times 10^6 \text{ m}^3$  en 60 ans environ

(1911 à 1970). Les techniques d'acquisition et de traitement des données ont été considérablement améliorées au cours des trois dernières années (communication personnelle de M. K. Wiebe), mais les conclusions principales de l'étude de 1970 restent valables, soit :

1. Il est toujours impossible de prévoir le schéma de sédimentation d'un réservoir avant sa construction, sauf de façon très générale.
2. Le meilleur moyen de réduire au maximum la sédimentation dans un réservoir, est de choisir un emplacement approprié et de contrôler l'érosion dans le bassin hydrographique. Cela veut dire, par exemple, qu'il faut choisir un emplacement ayant un gradient de cours d'eau minimal (Kerr 1973) et promouvoir des pratiques agricoles prudentes à l'intérieur du bassin. Dans certains endroits, la construction des routes à l'intérieur du bassin a accru la charge de sédiments des cours d'eau très substantiellement (Anderson 1974).

La sédimentation des réservoirs a d'autres conséquences que la simple réduction de la capacité d'emmagasinage. La sédimentation et la formation d'un delta dans la partie supérieure d'un réservoir, appelées ensemble atterrissement dans la zone de remous, élèvent le niveau de l'eau et peuvent provoquer l'inondation si les rives sont basses (Kerr 1973). Simultanément, le processus contraire, appelé surcreusement, peut se produire dans le lit du cours d'eau en aval du barrage, lorsque le cours d'eau emmène une nouvelle

charge de sédiments pour remplacer ce qui a été déposé dans le réservoir. Les matières fines sont emportées et le lit se pave de matières plus lourdes, immobiles, qui freinent l'érosion du lit (Hammad 1972). L'érosion de la rive peut alors se produire, accentuant le méandre du cours d'eau et endommageant parfois les rives de telle manière que des mesures correctives importantes soient nécessaires (Kerr 1973).

La recherche dans ces domaines au Canada, comprend des études de l'atterrissement et du surcreusement reliés au lac Diefenbaker, effectuées pendant la décennie hydrologique internationale (Anonyme 1975) ainsi qu'une étude de cinq ans portant sur les changements de la morphologie du canal en aval du réservoir de Deer Creek dans le sud-ouest de l'Ontario (Buma et Day 1977).

Bien qu'il soit normal pour les réservoirs de constituer des pièges à sédiments, et de déverser une eau plus propre que celle qu'ils reçoivent, cela n'est pas nécessairement vrai pour les retenues construites sur un matériau particulièrement vulnérable à l'érosion. L'érosion des rives par suite de l'élévation du niveau de l'eau dans le lac Southern Indian, a produit des quantités considérables de sédiments (fig. 10), augmentant par conséquent probablement la quantité de sédiments emportée par les cours d'eau qui en sortent. L'eau a une apparence opalescente, probablement par suite, nous le supposons, de la présence de matières en suspension très fines, qui ne se déposent au fond que très lentement ou pas du tout.

La construction d'une usine marémotrice dans la baie de Fundy sera accompagnée de

problèmes nouveaux. Amos (1977) en a étudié quelques uns. Les sédiments sont emportés non seulement vers la mer par les rivières, mais vers l'intérieur des terres par les courants de marée de sorte qu'on prévoit une sédimentation des deux côtés du barrage. Les observations faites sur une route (Windsor Causeway) qui est en fait un barrage qui traverse l'estuaire de la rivière Avon, révèlent qu'il peut se produire du côté de la mer de tels ouvrages, un limonage important et rapide, qui entraîne la formation de marais littoraux étendus.

Les matières en suspension transportées par l'eau courante sont un mélange complexe de particules de divers types d'argiles et d'autres matières inorganiques, ainsi que de déchets organiques provenant d'organismes terrestres et aquatiques. Ces éléments agissent l'un sur l'autre de diverses manières (Hyne 1978; Jackson et coll. 1978; Thomas 1969). Une proportion variable mais importante de la quantité totale d'éléments nutritifs présentes dans l'eau, peut être associée aux matières en suspension et retirée de l'eau lorsque les sédiments se déposent au fond (Gill et coll. 1976; McKee et coll. 1970; Schreiber et Rausch 1979).

D'autres substances, comme les pesticides (Pionke et Chesters 1973) et les ions métalliques (Frenet-Robin et Ottman 1978; Pita et Hyne 1975) peuvent être absorbées sur ces particules et retirées de la même manière. Les réservoirs servent par conséquent à piéger une quantité considérable de substances chimiques diverses. Certaines de ces substances peuvent être retournées à l'eau par suite de changements du pH, du potentiel



FIG. 10 Traînée de sédiments provenant d'un sol nouvellement submergé, lac Southern Indian (Institut des eaux douces, photo G. McCullough).

redox, ou d'autres caractéristiques des-sédiments, mais des renseignements plus complets seront nécessaires avant que les effets des réservoirs sur le comportement des éléments nutritifs et la toxicologie des écosystèmes aquatiques, soient parfaitement compris.

Les conséquences biologiques de la sédimentation d'un réservoir font l'objet d'une étude dans le chapitre sur les effets biologiques, un peu plus loin.

### **Changement du débit : Effets en aval**

L'imposition d'un nouveau régime de variation du niveau de l'eau, à bien des égards non naturels, peut avoir des effets en aval du barrage qui sont non moins dramatiques que les effets en amont. Il peut se produire deux types de changements : soit une augmentation de la variation diurne du débit, soit une diminution de sa variation annuelle. La première est le résultat de variations de la quantité d'eau passant par les turbines par suite de variations diurnes de la demande en électricité. Cela peut entraîner des changements importants et rapides du niveau de l'eau en aval, changements qui peuvent être fatals pour certains organismes aquatiques (Fisher et LaVoy 1972; Ward 1976a, b), altérer la morphologie du cours d'eau, bloquer l'accès aux îles en aval et limiter l'utilité du cours d'eau pour des activités telles que les promenades en bateau, la pêche et la nage.

Les changements à plus long terme, ou annuels, sont le résultat du stockage de l'eau pendant les périodes de crues et du déversement de cette eau pendant le reste de l'année. Cela peut produire des changements à des centaines de kilomètres en aval du barrage. Le surcreusement et l'atterrissement à l'embouchure des affluents sont souvent constatés. L'abolition d'un débit important dans le cours d'eau principal lorsque les affluents sont en période de crue, accélère le courant près de ses embouchures, et entraîne le creusement de leur lit. En même temps, les matières déposées dans le cours principal par les affluents ne peuvent plus être emportées, et forment des bars et des deltas, qui se stabilisent éventuellement lorsqu'une certaine végétation y prend racine. De tels changements ont été observés dans la partie aval de la rivière de La Paix depuis la construction du barrage W.A.C. Bennett (Kerr 1973; Kellerhalls et Gill 1973).

Ce barrage eut un impact encore plus dramatique sur le delta La Paix-Athabasca. Puisque la plupart des experts de l'environnement considéraient qu'il s'agissait probablement de la plus grave conséquence imprévue de la construction d'un barrage au Canada, et parce

qu'elle constitue un exemple presque classique, une description des événements serait utile. Des comptes rendus plus complets sont disponibles (Anonyme 1972, 1973, 1974). Une étude publiée en 1962, au tout début de la construction du barrage, prévoyait des changements du delta, mais les auteurs ne s'aventuraient pas à prédire leur nature (Anonyme 1962). Le delta est principalement un immense marais ou une série de marais parsemés de lacs et d'étangs de diverses tailles. Avant la construction du barrage, le delta se maintenait dans cet état parce qu'il était submergé presque chaque année, ce qui empêchait l'établissement d'une végétation caractéristique de sols plus secs; il s'agissait d'un écosystème à stabilisation pulsée classique.

La situation hydrologique était complexe. La rivière de La Paix, qui passe au nord du delta, avait peu d'effet sur l'inondation annuelle, mais ses eaux, lorsqu'elles sortaient de leur lit, bloquaient la sortie de la rivière Athabasca, venant du sud, ce qui entraînait l'inondation du delta. Peu de temps après la fermeture du barrage, on constata l'assèchement du delta et le début de l'établissement d'une végétation propre à un sol sec. On s'en inquiéta immédiatement dans la région, les habitants, pour la plupart des indiens (Cris, Chipewyan et Métis), assurant la plus grande partie de leur subsistance grâce au piégeage et à la pêche dans le delta.

On eut d'abord des doutes sur le rôle du barrage à cause de précipitations inférieures à la moyenne pendant les années précédentes, mais on conclut que le barrage était à tout le moins un facteur important. Après l'étude de diverses possibilités, on construisit un déversoir qui, espérait-on, rétablirait la situation originale. Bien qu'il soit probablement encore trop tôt pour juger du succès de l'entreprise, les résultats, jusqu'ici, sont encourageants.

L'exemple est instructif parce qu'il possède nombre des caractéristiques souvent reliées aux effets environnementaux des barrages. L'effet s'est fait sentir à un endroit très éloigné du barrage; il n'était pas certain que l'effet fût causé par le barrage et non par quelque autre phénomène (en l'occurrence, une faible précipitation) simultané ou parallèle; et l'effet (l'assèchement du marécage) aurait bien pu, dans d'autres circonstances, être jugé souhaitable.

Les deltas semblent être particulièrement vulnérables aux effets de la modification du débit des cours d'eau qui les créent. La régulation du MacKenzie entraînerait une modification assez considérable de son delta (Gill 1971, 1972, 1973, 1975; Gill et Cooke 1974; Kellerhalls et Gill 1973).

Les estuaires peuvent également être touchés par la régulation de leurs rivières, et les effets peuvent se faire sentir à une bonne distance dans l'océan (Elliot 1976). Les estuaires sont des écotones qui séparent l'eau douce de l'eau salée; ils sont complexes du point de vue hydrologique parce qu'ils sont des zones d'interaction entre l'eau douce transportée vers la mer par les rivières et l'eau salée transportée vers les terres par les marées (Fischer 1976). C'est pourquoi ils sont plutôt vulnérables; par exemple, des changements assez importants ont été provoqués par une perturbation relativement légère d'un estuaire de la Colombie-Britannique (Pomeroy et Stockner 1976). Ils permettent la croissance de bien des formes de vie, notamment d'un certain nombre d'organismes ayant une grande importance commerciale.

Une étude de quatre estuaires canadiens importants et une discussion des problèmes qu'a entraîné leur aménagement, ont été publiées récemment (Fox et Nowlan 1978).

L'influence du Saint-Laurent sur les caractéristiques océanographiques de son golfe, et même au-delà, ont fait l'objet d'études récentes (Sutcliffe 1972; Sutcliffe et coll. 1976; Trites et Walton 1975) et les effets probables de la régularisation de son débit ont été signalés (Hassan 1975; Neu 1975). On croit d'ailleurs que certains changements ont déjà été provoqués (Sutcliffe 1973). Certains ont manifesté leur inquiétude à propos des changements possibles du détroit de Géorgie après la régulation du Fraser (Geen 1975).

Une bonne part de l'inquiétude visant ces régions, est reliée aux effets possibles sur les poissons, qui seront abordés dans le chapitre sur les effets biologiques. Cependant, il faut signaler une autre conséquence possible de la régularisation du débit d'un cours d'eau: la modification possible du climat en aval. Gill (1971) a démontré que la débâcle dans la partie nord du Mackenzie est accélérée par les inondations printanières qui, par l'entremise de la pression hydrostatique, brisent la glace et permettent à l'eau de la submerger. La glace recouverte d'eau réfléchit moins l'énergie de rayonnement que la glace recouverte de neige, de sorte que la vitesse de réchauffement et de fonte est accrue. Il estime que toute réduction de la hauteur des inondations printanières peut provoquer un retard important du printemps le long du bas Mackenzie et dans son delta.

On a avancé la possibilité de conséquences encore plus sérieuses de la régulation des grands cours d'eau s'écoulant vers le Nord aux latitudes élevées. Aagaard et Coachman (1975) ont parlé des conséquences possibles de la régularisation du

débit de l'eau douce dans le bassin eurasiatique de l'océan Arctique. Ils croient que cela pourrait modifier le schéma de stratification, augmenter le brassage, entraîner le transport de la chaleur vers la surface et la disparition d'une quantité importante de glace de la région. Puisque l'Union soviétique projette de régulariser le débit de l'Ob, une des plus grandes rivières qui se déversent dans le bassin eurasiatique (Rich 1976), ces spéculations n'ont pas qu'un intérêt théorique.

Il n'y a presque pas de précédent dans ce domaine, puisque personne, jusqu'à récemment, n'avait régularisé le débit d'une grande rivière s'écoulant vers le Nord sous des latitudes élevées. Le projet de la baie James comprend la régularisation de la rivière Grande Rivière et la déviation vers elle de la plus grande partie du débit de la rivière Eastmain. Ces deux rivières s'écoulent vers l'ouest dans la baie James. Il comprend également la déviation vers la rivière Grande Rivière d'environ un quart du débit de la rivière Caniapiscou qui s'écoule vers le Nord dans la rivière Koksoak et, par conséquent, dans la baie d'Ungava. Il sera intéressant de voir quels effets le projet aura sur les caractéristiques océanographiques de la région de la baie d'Ungava.

La déviation de la Caniapiscou n'augmentera que de 6,5 % la quantité totale d'eau douce s'écoulant dans la baie James (données inédites de S. J. Prinsenbergh). Le projet aura un effet plus important: le changement du cycle saisonnier d'alimentation en eau à cause d'une augmentation considérable du débit pendant l'hiver. Il y aura probablement un changement des courants superficiels (Peck 1977; données inédites de Prinsenbergh; El-Sabh et Koutitonsky 1977), mais les conséquences à plus grande échelle, sur le plan océanographique, pour la baie James et la baie d'Hudson sont inconnues, tout comme les effets océanographiques possibles de la déviation Churchill-Nelson du côté ouest de la baie d'Hudson et l'interaction de ces derniers avec les effets du projet de la baie James.

Lorsqu'un réservoir est rempli, le cours d'eau en aval est presque entièrement coupé pendant un certain temps. Si ce cours d'eau est près de la mer, l'eau salée peut être transportée, sous l'action des marées, une certaine distance en amont au détriment de la flore et de la faune. Les ingénieurs travaillant sous les latitudes élevées jouissent d'un certain avantage par rapport à leurs collègues des régions plus chaudes, parce que l'ampleur de l'intrusion des eaux salées peut être réduite en retardant la fermeture du barrage jusqu'à ce que le bas de la rivière ait gelé, ce qui assure une barrière partielle. Cette politique fut suivie pour LG 2, le



plus grand ouvrage de retenue sur la rivière Grande Rivière.

La déviation de l'eau d'une rivière vers une autre influe sur les deux cours d'eau, en fonction de la diminution et de l'augmentation relatives de leurs débits respectifs, de la nature du terrain, et des conditions climatiques dominantes. Un examen valable du sujet basé sur une étude de 11 déviations d'un bassin à l'autre faites au Canada, a été récemment publié par Kellerhalls et coll. (1979). Les effets sur le cours d'eau diminué sont semblables aux effets que provoquerait une réduction du débit maximal. Un des effets importants à haute latitude est le givrage du chenal si la profondeur est insuffisante, et peut-être une accumulation importante de glace sur la plaine d'inondation. Les effets possibles sur le cours d'eau augmenté comprennent une accélération de l'érosion et une augmentation conséquente de la charge de sédiment, qui peut être déposée plus loin en aval. L'ampleur et la nature de ces effets ne peuvent être prédites que dans des limites très restreintes.

Un projet de construction d'une usine marémotrice dans la baie de Fundy aurait diverses conséquences océanographiques qui ne peuvent être prédites avec précision à l'heure actuelle. Le schéma de stratification et de brassage dans la région touchée serait modifié (Garrett et coll. 1978). En outre, le cycle des marées de la baie de Fundy et du golfe du Maine (qui semblent se comporter comme un système unique) est régi non seulement par le cycle à peu près semi-diurne, mais également par la période d'oscillation naturelle du système. Par conséquent, une usine marémotrice, en changeant la longueur du système, changerait sa période naturelle et par conséquent le schéma de la résonance entre cette période et le cycle des marées; les changements du cycle des marées pourraient être perceptibles aussi loin que Boston (Greenberg 1977).

Il s'agit d'un autre domaine dans lequel les expériences étrangères n'offrent qu'un faible secours. La seule usine marémotrice actuellement en exploitation est celle de Rance près de Saint-Malo en France. Certaines études ont été faites sur un projet d'usine du même type dans l'estuaire de Severn en Angleterre (Robinson 1978).

### **Effets biologiques des barrages et retenues d'eau**

Les effets biologiques sont nombreux et complexes autant en amont qu'en aval d'un barrage, et ont provoqué bien des inquiétudes autant au Canada qu'à l'étranger. Divers aspects du problème ont été étudiés dans le contexte canadien par

Brett (1957), par les participants à un congrès sur les effets de l'activité humaine en général sur les pêches (Larkin et coll. 1959; Miller et Paetz 1959; Pritchard 1959; Vladykov 1959), dans un colloque de Larkin (1972), dans deux études de Geen (1974, 1975), et pour quatre espèces importantes (le grand corégone, *Coregonus clupeaformis*; le grand brochet, *Esox lucius*; le doré, *Stizostedion vitreum vitreum* et le touladi, *Salvelinus namaycush* dans une série de bibliographies et d'études de documentation de Machniak (1975).

On sait depuis longtemps que les populations de poissons sont souvent très nombreuses pendant les premières années d'existence des nouvelles retenues d'eau (Ellis 1941). On a prétendu (Wiebe 1960) que les effets des activités de la Tennessee Valley Authority (TVA) sur les pêches dans cette région ont été entièrement favorables. Les grandes retenues d'eau en U.R.S.S. (Zhadin et Gerd 1963) et en Afrique (Ryder et Henderson 1975; Goodwin 1976) ont apporté de nouvelles ressources poissonnières importantes dans leurs régions respectives. Au Canada, le lac Diefenbaker a rendu possible la pêche sportive dans une région qui en était pratiquement dépourvue avant la construction du réservoir (Richards 1975).

Dans toutes les régions que nous venons de mentionner cependant, les poissons en question n'appartenaient pas à des espèces migratrices. Dans l'est et l'ouest du Canada, les poissons anadromes (c'est-à-dire, ceux qui naissent dans les eaux douces et passent leur vie adulte dans la mer), en particulier certaines espèces de saumon (*Salmo* et *Oncorhynchus*), constituent une ressource importante, et les effets des barrages sur les stocks de ces espèces sont presque certainement néfastes si certaines précautions ne sont pas prises.

Au Canada, jusqu'à tout récemment, on a accordé peu d'attention au développement de nouvelles pêcheries commerciales (par opposition à la pêche sportive) dans les nouvelles retenues d'eau, probablement parce que les ressources poissonnières de nos nombreux lacs naturels ont suffi à satisfaire la demande. Il semble qu'on ait plutôt essayé de maintenir les ressources existantes dans des eaux modifiées par la construction d'un barrage et l'inondation. Un projet récent visant à établir une pêcherie commerciale dans le réservoir Smallwood au Labrador, constitue peut-être le début d'une nouvelle tendance.

L'augmentation rapide des populations de poissons souvent observée dans les nouvelles retenues d'eau, a probablement plusieurs causes. L'augmentation du taux de reproduction grâce à l'existence de lieux de frai sûrs et la protection des alevins contre les prédateurs par la végétation des

zones inondées, en est probablement une. La disponibilité d'une nourriture plus abondante en est une autre. Quand un cours d'eau est endigué pour former un bassin, la diminution du débit permet le développement d'une population de phytoplancton qui est élargie par l'apport accru d'éléments nutritifs emportés par le passage de l'eau sur le sol et la végétation submergés. Cela est suivi (ou accompagné) d'une augmentation de la population de zooplancton, et ainsi de suite le long de la chaîne alimentaire. La population benthique augmente également en utilisant les matières organiques fournies par la végétation submergée.

Au Canada, on a effectué de nombreux travaux sur le développement des populations d'algues et d'invertébrés dans les nouvelles retenues d'eau. Laberge et Mann (1976) ont étudié le phytoplancton du réservoir Mactaquac de la rivière Saint-Jean. L'Université de Waterloo est devenue un centre de recherches dans ce domaine, grâce aux travaux de Hynes, Fernando et leurs collègues sur le benthos (Fernando et Galbraith 1973; Paterson et Fernando 1970; Spence et Hynes 1971a, b) et de Duthie et ses collègues sur le plancton (Duthie et Kirton 1969; Duthie et Ostrofsky 1975; Ostrofsky et Duthie 1975; Duthie 1979). Nursall (1952, 1969) a fait des études valables dans le réservoir de Kananaskis en Alberta.

Toutes les espèces de poissons peuplant à l'origine un cours d'eau qui est par la suite endigué, ne s'adaptent pas parfaitement; certaines même peuvent disparaître. Le cas de *Percina tanasi*, un petit poisson qui ne vit que dans un tronçon de la rivière Little Tennessee, est devenu célèbre (Kinkead 1979). Parce que cette espèce aurait presque certainement été exterminée si son habitat avait été submergé, l'achèvement du barrage Tellico, situé juste en aval de son habitat, fut retardé de plusieurs années. La faune aquatique d'eau douce du Canada est bien moins diverse que celle des États-Unis et il semble peu probable qu'une situation analogue se produise ici, mais le danger de l'extermination d'une espèce utile d'une région particulière, existe toujours.

Au Canada, on a fait relativement peu de recherches dans ce domaine, mais d'après la documentation générale sur le sujet, étudiée par Machniak (1975) les problèmes suivants peuvent être identifiés.

Le rabattement du plan d'eau peut être très nuisible aux populations de poissons qui frayent dans les eaux peu profondes, si le régime d'exploitation est tel que ces régions sont mises à sec quand les nids contiennent des œufs ou des alevins. À l'étranger, on a réussi à réduire les dommages en fournissant des plate-formes de frai

flottantes (Zhadin et Gerd 1963) ou en construisant des sous-retenues qui restent remplies d'eau lorsque le niveau du réservoir est abaissé (Grimás 1965).

L'effet contraire, soit l'élévation du niveau de l'eau de manière à submerger les frayères traditionnelles, peut entraver la reproduction de certaines espèces, bien que Cuerrier (1954) ait constaté, dans le lac Minnewanka en Alberta, que les touladis continuaient à fréquenter leurs frayères habituelles même après l'élévation du plan d'eau.

Les changements du cycle des températures saisonnières provoqués par la retenue des eaux, peuvent changer la saison du frai au détriment de certaines espèces. Les scientifiques de l'Institut des eaux douces de Winnipeg sont en train d'étudier cette possibilité dans le lac Southern Indian.

Si des quantités importantes de sédiment sont libérées dans l'eau retenue, elles auront presque certainement des effets négatifs. Lorsque la charge de sédiments en suspension est très élevée, les poissons adultes sont tués parce que leurs branchies se bloquent. À des concentrations très inférieures, bien des invertébrés, notamment les espèces importantes comme nourriture pour les poissons, meurent ou essaient de quitter la zone touchée. Hynes (1973), dans une étude utile de la question, a conclu que des charges supérieures à environ 80 mg/L sont probablement nuisibles. Rosenberg et Wiens (1978) ont trouvé que l'apport de quelques mg/L de sédiments en suspension dans un cours d'eau dans les Territoires du Nord-Ouest, a entraîné une augmentation importante de la dérive de plusieurs espèces macrobenthiques.

Le dépôt de limon peut endommager sérieusement les invertébrés benthiques sessiles et les œufs et alevins de certaines espèces de poissons, particulièrement celles, comme certains Salmonidés, qui frayent dans des lits de gravier. Le limon déposé nuit probablement à la circulation de l'eau dans le gravier, provoquant la suffocation (Hynes 1973). Ce sujet est également à l'étude dans le lac Southern Indian où, comme nous l'avons déjà noté, la charge de limon est très élevée.

Les poissons des réservoirs sont également exposés au danger de la désoxygénation de l'eau. Le profil longitudinal anormal de la plupart des réservoirs, l'eau la plus profonde étant juste derrière le barrage, favorise l'accumulation d'une couche d'eau de fond stagnante à cet endroit. La désoxygénation peut survenir, surtout dans les nouvelles retenues d'eau où le sol et la végétation submergés créent une demande d'oxygène considérable. Si, pour quelque raison que ce soit, cette

eau est mélangée à l'eau de la couche supérieure, les effets sur les poissons peuvent être désastreux (Ellis 1941).

Les populations de parasites des poissons peuvent croître par suite des effets de la retenue de l'eau. Ce problème a été étudié dans le contexte canadien par Lawler (1970), surtout en ce qui concerne le grand corégone, bien que les principes généraux qu'il a énoncés soient applicables à d'autres espèces. Les facteurs importants ne sont pas parfaitement compris; ils comprennent notamment les changements de l'abondance relative de diverses espèces de poissons, les modifications de leur comportement alimentaire et une augmentation du nombre des espèces de zooplancton qui sont les hôtes intermédiaires des parasites. Lorsqu'un projet comprend la déviation d'un cours d'eau d'un bassin hydrographique vers un autre, les dangers sont réels. Les parasites peuvent être entraînés dans des régions qui en étaient auparavant libres, comme l'a signalé pour la Colombie-Britannique Lindsey (1957) et, pour certaines rivières du Yukon, Arthur et coll. (1976). C'est l'une des conséquences indésirables possibles de la déviation de Garrison (Weber 1977).

La déviation d'un cours d'eau peut en outre attirer des espèces de poissons indésirables dans des eaux qui en étaient libres, peut-être au détriment des espèces désirables (Weber 1977; Loch et coll. 1979).

Dans les Maritimes, on a construit de petites retenues dans des cours d'eau côtiers dans le but exprès de fournir des habitats au saumon atlantique (*Salmo salar*) et à la truite mouchetée (*Salvelinus fontinalis*). Saunders (1960) et Smith et Saunders (1967, 1968) ont décrit les effets d'une retenue de ce genre sur le ruisseau Ellerslie dans l'Île-du-Prince-Édouard. Les déplacements des poissons ont été modifiés dans une certaine mesure, mais il n'y a pas eu d'augmentation permanente des prises.

On observe souvent des changements importants des organismes vivant en aval des barrages. Les changements physiques qui en sont la cause ont déjà été mentionnés. Ils comprennent des fluctuations, accrues à court terme et réduites à long terme, des niveaux de l'eau, une augmentation de la transparence par suite de la sédimentation du réservoir et des changements du régime des températures. Si le réservoir est assez profond pour permettre la stratification et s'il déverse de l'eau de l'hypolimnion, la température de l'eau en aval sera réduite et l'arrivée de la période de température maximale sera retardée. Pour les réservoirs peu profonds ou ceux qui déversent l'eau de l'épilimnion, la température peut être augmentée. Il peut également y avoir une augmentation de la

quantité de déchets organiques provenant du plancton du réservoir. Il n'est pas toujours facile de démêler les effets de ces divers facteurs.

Ward (1976a) s'est penché sur 13 études (10 américaines et 3 canadiennes) des effets des changements du régime de débit sur le benthos. La diversité du benthos a été souvent réduite, mais la population absolue a augmenté aussi souvent qu'elle a diminué. Souvent, la composition des espèces a changé considérablement. Une régulation du débit a normalement augmenté la population absolue. Une augmentation de la régularité à long terme, en assurant un substrat stable, peut augmenter la population totale en dépit d'une éventuelle diminution légère de la régularité à court terme. Les fluctuations radicales à court terme, cependant, sont très destructives pour bien des espèces (Fisher et LaVoy 1972; Trotzky et Gregory 1974).

Lehmkuhl (1972, 1979) a constaté une diminution de la diversité et de la biomasse des larves d'insectes dans la rivière Saskatchewan sud en aval du lac Diefenbaker; les effets pouvaient être perçus jusqu'à 110 km en aval. Il en attribua la cause à l'effet de refroidissement dû au déversement de l'hypolimnion. Spence et Hynes (1971a) ont constaté un changement de la composition des espèces du benthos en aval d'un barrage situé sur la rivière Grande dans le sud de l'Ontario. Certains de ces changements semblaient être provoqués par des changements de température, mais d'autres facteurs ont joué un rôle: une augmentation de la quantité de matière organique particulière a favorisé les détritivores, et une croissance accrue des algues fixes a favorisé les espèces qui y vivent et s'en nourrissent.

Certaines espèces d'insectes semblent être particulièrement vulnérables aux altérations du régime thermique, parce que les diverses étapes de leurs métamorphoses sont déclenchées par des changements de température; si la température ne change pas, ou change au mauvais moment, leurs cycles de vie peuvent être perturbés (Ward 1976b; Gore 1977). La question a une importance pratique parce que nombre des espèces vulnérables sont une source importante de nourriture pour les poissons.

Fredeen (1977) a décrit certains des changements qui se sont produits dans la rivière Saskatchewan sud en aval du lac Diefenbaker. La transparence accrue de l'eau a entraîné une augmentation considérable de la croissance des plantes aquatiques fixes, surtout des algues filamenteuses. Ce qui est plus surprenant, c'est que l'espèce de mouche noire *Simulium arcticum* a été complètement remplacée par deux autres espèces, *S. luggeri* et *S. vittatum*.

La diversité des poissons est souvent réduite en aval des retenues d'eau. Spence et Hynes (1971b) ont constaté que quatre espèces qui se trouvaient en amont du barrage étaient absentes en aval. Il s'agissait d'espèces méridionales, ce qui porte à croire que le refroidissement de l'eau en était la cause. Dans les cours d'eau plus chauds, comme ceux des rivières régularisées par la TVA, les températures en aval ont été suffisamment réduites pour permettre aux populations des Salmonidés de se développer et de remplacer les espèces moins désirables qui s'y trouvaient auparavant (Wiebe 1960); de tels bienfaits semblent peu probables dans les cours d'eau plus froids du Canada.

Une diminution de la turbidité par suite du dépôt des sédiments en suspension dans le réservoir, peut entraîner une augmentation de la productivité primaire et, partant, de la nourriture disponible pour les poissons; en contrepartie, elle peut exposer ces derniers à de plus grands dangers face aux prédateurs. L'effet net de ces changements est difficile à prévoir (Geen 1974).

L'appauvrissement en oxygène et l'augmentation subséquente des concentrations d'espèces chimiques réduites comme les ions manganéux et sulfures peuvent rendre l'eau de l'hypolimnion très dangereuse pour la vie en aval (Hagan et Roberts 1972). L'effet peut être désastreux si l'eau est utilisée pour approvisionner un lieu d'alevinage (Oglesby et coll. 1978). Un refroidissement excessif de l'eau peut également endommager sérieusement les alevins en les rendant plus vulnérables aux infections (Hagan et Roberts 1972).

Quand l'eau mélangée à de l'air passe dans les turbines, ou quand l'eau passe par-dessus le déversoir, entraînant de l'air à des profondeurs considérables, elle peut devenir sursaturée de gaz, en particulier d'azote. Si ces gaz passent à l'état gazeux à l'intérieur du corps d'un poisson, les bulles qu'ils forment peuvent causer des blessures plus ou moins graves ou même la mort, selon le lieu de formation (maladie gazeuse) (fig. 11). H.H. Harvey de l'Université de Toronto, un expert reconnu dans ce domaine, a récemment publié une étude (Harvey 1975). Aux États-Unis, on a observé des cas de maladie gazeuse dans les saumons de la rivière Colombia à une échelle suffisamment grande pour justifier de sérieuses inquiétudes, et au moins trois études de la question ont été publiées récemment (Boyer 1973; Rucker 1972; Stroud et coll. 1975). La sursaturation dans les turbines peut probablement être réduite ou supprimée par une modification du réseau des valves d'air (Ruggles et Watt 1975), et la sursaturation en aval des déversoirs, par une conception judicieuse de ces derniers (Smith 1974;

Smith 1976). Le gouvernement canadien a eu pour politique d'interdire la construction des barrages sur les cours d'eau à saumon importants de la côte ouest (Harvey 1976), de sorte que le problème ne semble pas avoir été trop sérieux dans cette région. Par contre, les saumons atlantiques de la rivière Saint-Jean en ont été victimes (MacDonald et Hyatt 1973).

Si l'augmentation des besoins énergétiques justifie dans l'avenir le changement de la politique actuelle et l'autorisation de l'emploi des rivières à saumon pour le développement hydro-électrique, il y aura certainement de graves problèmes, dont la plupart ont été mentionnés plus haut. Cependant, les poissons anadromes constituent un cas particulier. Ils quittent la mer pour retourner dans les cours d'eau où ils sont nés. Ils trouvent leur chemin en suivant des indices olfactifs et tactiles très subtils. Certaines espèces, notamment toutes les espèces de saumon du Pacifique, ne se nourrissent pas une fois commencée la migration vers les frayères.

Cela nous amène à certaines considérations pratiques. Si un cours d'eau est bloqué, même provisoirement, et que le blocage dure aussi longtemps, sinon plus, que la période de séjour des poissons dans la mer, le stock de poissons du cours d'eau peut être complètement détruit. Si le cours d'eau est partiellement bloqué, les indices qui mènent aux frayères peuvent être obnubilés suffisamment pour que les poissons soient retardés et meurent avant d'atteindre leur destination. Si l'on construit un réservoir sur leur route, ils choisiront peut-être l'eau plus froide des profondeurs et seront incapables d'en ressortir. Les ingénieurs ont consacré beaucoup d'efforts à la conception de structures qui permettent aux poissons de surmonter les barrages et autres obstacles. Il existe déjà un livre sur ce problème qui porte particulièrement sur le contexte canadien (Clay 1961). Cependant, les experts en pêche sont partagés sur la compatibilité des barrages et des poissons anadromes. Les uns pensent que les problèmes peuvent être résolus si on y met les efforts nécessaires (Collins 1976) et les autres croient que de toute probabilité, les populations de saumon situées en amont d'un barrage du type Moran (sur le Fraser) sont condamnées (Geen 1974). Dans certains cas, au Canada, la construction d'une échelle à poissons non surveillée n'a fait que faciliter le braconnage (Scott et Crossman 1973, p. 281-282; *The Spectator* 1977).

Sur la rivière Saint-Jean, le processus de capture des poissons au bas des barrages pour les transporter et les libérer en amont, a donné quelques bons résultats. Cependant, dans les cas où une quantité considérable de poissons arrive

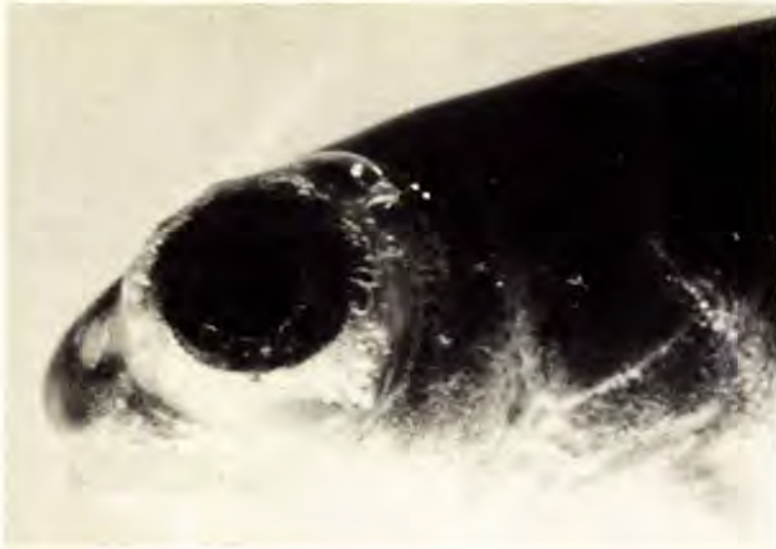


FIG. 11 Exophthalmie des truites arc-en-ciel (*Salmo gairdneri*) provoquée par la maladie gazeuse (photo H. H. Harvey).

dans une période très courte, des problèmes très sérieux d'ordre pratique et économique peuvent se poser. Les jeunes saumons qui s'en vont à la mer mourront probablement en grand nombre s'ils passent dans les turbines. En Nouvelle-Écosse, des déflecteurs à jalousies ont réussi assez bien à les éloigner des turbines (Ducharme 1972). On a aménagé sur la rivière Saint-Jean un bassin d'alevinage en aval du barrage Mactaquac pour élever des saumoneaux afin de remplacer les individus tués dans les turbines ou perdus autrement (Ruggles et Watt 1975).

Les barrages bloquent également les déplacements des poissons catadromes (ceux qui naissent dans la mer et passent leur vie adulte dans l'eau douce). Le seul poisson catadrome ayant une importance commerciale est l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*). Lors de la construction du barrage Moses-Saunders sur la voie maritime du Saint-Laurent en 1958, on s'attendait à ce que le barrage empêche les jeunes anguilles (elvers) de pénétrer dans le lac Ontario et, par le fait même, à la destruction de la pêcherie d'anguilles qui y existe (Eales 1968). Bien que le passage soit difficile autant pour les anguilles (Lefolii 1970) que pour les turbines (Eales 1968), le barrage ne semble pas constituer un obstacle sérieux pour les jeunes anguilles. En 1971, il n'existait pas encore d'indices permettant de conclure au déclin des prises d'anguilles (ministère des Ressources naturelles de l'Ontario 1972) et la prise était toujours

importante en 1974 (ministère ontarien du Trésor, de l'Économie et des Affaires gouvernementales 1975). Cependant, les jeunes anguilles créaient des ennuis parce qu'elles se rassemblaient en grand nombre juste en aval des sorties des turbines. Lorsque les turbines étaient fermées pour réparation, les anguilles remontaient immédiatement à l'intérieur des turbines, bloquant les entrées des pompes qui servent à enlever l'eau contenue dans le corps de la turbine. On a par conséquent installé une échelle à anguilles provisoire en 1974, et depuis ce temps, un demi-million à un million d'anguilles s'en sont servies chaque année (Whitfield et Kolenosky 1978). Un ouvrage permanent sera construit bientôt (Anonyme 1978).

Nous avons déjà parlé des transformations physiques que subissent les estuaires et les parties adjacentes à l'océan par suite de la régulation des rivières qui s'y jettent. Cela présente des difficultés sérieuses. L'ampleur des effets physiques n'est pas facile à prévoir, et il est encore plus difficile de se faire une idée de l'impact que peut avoir un changement sur les stocks de poissons. Les écosystèmes des estuaires, comme ceux des cours d'eau, reçoivent en fin de compte la plupart de leur énergie, des déchets organiques produits ailleurs. On a récemment constaté que les jeunes saumons kétas (*Oncorhynchus keta*) des estuaires se nourrissent largement de crustacés détritiques (Healey 1979; Naiman et Sibert 1979; Sibert

1979; Sibert et coll. 1977). Par conséquent, toute diminution de la quantité de déchets organiques atteignant l'estuaire peut avoir des conséquences sérieuses.

Le barrage LG 2 du projet de la baie James aura certainement des effets sur la faune de l'estuaire de la rivière Grande Rivière (Dadswell 1974) mais ces effets ne seront probablement pas graves (Hunter et coll. 1977; Grainger et McSween 1976; Grainger 1977). La déviation partielle de la rivière Caniapiscaw vers la rivière Grande Rivière n'aura pas de conséquences, selon les prévisions, sur la pêcherie de saumons de la rivière Koksoak, dans laquelle elle se jette (Soucy 1978c).

Par contre, il existe des raisons de croire que la régulation du Fraser aurait des effets néfastes sur les jeunes saumons du détroit de Georgie (Geen 1974, 1975) et certains indices nous portent à croire que la régulation du Saint-Laurent et des autres rivières se jetant dans le golfe du Saint-Laurent a peut-être déjà réduit les prises de certaines espèces dans le golfe (Sutcliffe 1973). Une usine marémotrice dans la baie de Fundy provoquerait certainement des changements de la population d'invertébrés dans la région concernée, et ces changements pourraient à leur tour avoir des effets néfastes sur les poissons et les oiseaux qui se nourrissent de ces organismes (Risk et coll. 1977).

### **Activité sismique produite par les retenues d'eau (sismicité induite)**

Au cours des dix dernières années environ, on a enregistré, partout dans le monde, un certain nombre de tremblements de terre accompagnant ou suivant le remplissage des grandes retenues d'eau. On estime maintenant que dans la plupart, sinon la totalité, de ces cas, les secousses sont la conséquence de la retenue de l'eau (Gupta et Rastogi 1976). Certains auteurs ont traité des mécanismes qui pourraient être en cause (Gough et Gough 1970; Kisslinger 1976; Simpson 1976; Bell et Nur 1978).

Il semble que le facteur le plus important de production d'activité sismique dans les retenues d'eau est la profondeur de l'eau; si elle dépasse 100 m environ, il y a de bonnes chances pour que des secousses se produisent (Rothé 1973). Le phénomène n'est pas limité aux seules régions qui ont connu une récente activité sismique spontanée, bien que dans la plupart des cas, il y avait eu des secousses par le passé. Les secousses induites n'étaient pas sérieuses (maximum de 6 environ sur l'échelle de Richter) et, en général, n'avaient pas entraîné de dommages sérieux. Cependant, le

séisme près du barrage de Koyna en Inde de décembre 1967, a causé des dommages considérables et provoqué la mort de plusieurs personnes. Les géophysiciens ne s'accordent pas pour conclure qu'il s'agit bel et bien d'un séisme provoqué par la retenue de l'eau. Il est possible également qu'une activité sismique induite ait été à l'origine du plus grave désastre des temps modernes, lié à un barrage, qui s'est produit en octobre 1963, alors qu'un glissement de terrain a provoqué la chute d'une masse de terre considérable dans le réservoir situé derrière le barrage de Vaiont en Italie. Il se forma une vague gigantesque qui déborda du barrage et provoqua la mort de plus de 2 000 personnes dans la vallée qui se trouvait en bas. On a signalé que le remplissage d'un grand réservoir dans le Tadjikistan soviétique a dû être arrêté à cause d'une augmentation d'activité sismique (Rich 1977).

Au Canada, nous connaissons un cas d'activité sismique provoquée par la retenue de l'eau. Il s'agit d'une secousse de magnitude de 4,3 qui s'est produite en octobre 1975 au cours du remplissage du Réservoir n° 3 de Manicouagan au Québec (Milne et Berry 1976; Buchbinder 1977). On n'a constaté aucune autre forme d'activité sismique induite due aux autres barrages de l'énorme complexe Manicouagan.

Au Canada, nombre de scientifiques ont de l'expérience dans ce domaine. Outre les géophysiciens du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources qui ont fait enquête sur le séisme de Manicouagan, M. D. I. Gough de l'Université de l'Alberta est un spécialiste de renommée internationale de la sismicité induite.

### **Effets des retenues d'eau sur le climat**

L'inondation d'une vaste région ou la construction d'un barrage pour accumuler un volume considérable d'eau, peut avoir des effets appréciables sur les caractéristiques climatologiques près de la masse d'eau et à une certaine distance dans le sens du vent. L'ampleur et l'importance de ces effets dépendent surtout de la morphologie de la masse d'eau, de sa situation géographique et du type de changement dans l'utilisation des terres. Les conséquences physiques et biologiques, bénéfiques ou néfastes, d'un changement de climat, peuvent être difficiles à évaluer et diffèrent certainement en fonction de l'environnement.

Peu de lacs ou de réservoirs artificiels existent depuis assez longtemps pour constituer des sources de données météorologiques sûres permettant de voir si la création d'un réservoir peut opérer un changement significatif du climat. On peut comparer les changements mineurs du climat

local provoqués par la construction d'un réservoir, à la variation naturelle de la circulation atmosphérique, mais il est difficile de se prononcer avec certitude sur les liens possibles entre ces changements et la modification de la surface de la planète. Il est possible de croire qu'il ne se produit aucun changement permanent. Vendrov et Malik (1965) estiment que le critère quantitatif minimal pour la mesure de l'étendue de l'influence d'un réservoir est d'environ 0,3°C, ce qui tombe dans la gamme des fluctuations climatiques aléatoires.

La plus grande partie de l'influence est d'une importance pratique moindre pour le réservoir que pour l'écosystème qui l'entoure. De petits changements des paramètres météorologiques comme la température, la précipitation et le vent, peuvent avoir un impact considérable sur les activités humaines comme l'agriculture, les transports, le bâtiment et l'urbanisation. Il importe de se pencher sur les éventuelles conséquences environnementales d'un changement de climat, et de voir comment planifier la conception d'un réservoir pour éliminer le maximum d'effets indésirables et exploiter au maximum les effets favorables. Par exemple, l'évaporation du réservoir peut être réduite au maximum en choisissant un emplacement qui donne une surface moins exposée et en situant les points de décharge de l'eau de sorte à déverser l'eau chaude de la surface plutôt que l'eau froide des profondeurs. De même, l'implantation simultanée des habitations, des commerces, des industries et des installations de loisirs exige, pour être bien faite, une certaine connaissance des modalités d'interaction de l'air et de l'eau et de leur influence sur le potentiel de pollution atmosphérique.

La nécessité de distinguer l'ampleur de l'importance de chaque effet, entraîne une autre difficulté. Par exemple, l'inondation d'un peuplement forestier dans le sud du Canada peut diminuer la température locale de 3°C, ce qui peut être moins destructeur pour l'environnement que sous des latitudes plus au nord, où la différence de température peut n'être que de 1°C mais où les écosystèmes locaux peuvent être plus fragiles.

L'étendue de la zone d'influence climatique dépend du type de changement d'utilisation du terrain et du caractère du réservoir et du paysage sur la rive. Règle générale, l'influence se fait sentir sur le terrain environnant sur une distance égale à la distance que parcourt le vent au-dessus de l'eau.

Avant le projet de développement de la baie James, on s'était peu intéressé au Canada aux effets climatiques des retenues d'eau. Dans bien des grands projets, on a négligé les occasions de mettre sur pied des réseaux d'observation avant et

après la construction. Les efforts canadiens ont surtout porté sur la mesure des effets de lac, mais l'interprétation de leur impact possible sur l'environnement a été largement négligée. Depuis plus de dix ans, la Section des applications aux Grands lacs et à la mer du Service de l'environnement atmosphérique a fait des recherches sur les effets des Grands lacs sur le temps, et inversement, sur l'influence des phénomènes météorologiques sur ces lacs (Richards 1969). Il faut user de prudence pour appliquer à d'autres régions nos connaissances sur les Grands lacs. Dans une large mesure, ce sont les mêmes facteurs physiques que l'on constate, mais l'ampleur des effets est beaucoup moins étendue. La plus grande zone inondée du projet de la baie James ne représente que 20 % du lac Ontario, le plus petit des Grands lacs.

Il existe de nombreuses communications scientifiques sur les effets de température qui résultent de la construction de lacs et de réservoirs de petite taille dans les régions tempérées, sans doute parce que la modification de la température de l'air est facilement détectée (pour une étude de la situation canadienne, voir Holmes 1972). Pour les petites masses d'eau, les températures extrêmes de l'air sont généralement supprimées, les températures moyennes sont légèrement plus froides que les températures des terres au printemps et légèrement plus chaudes en automne. Les réservoirs ont également une influence sur la gamme des températures diurnes. En moyenne, les réservoirs relèvent les températures nocturnes et abaissent les températures diurnes de mai à juillet et réchauffent l'air environnant de septembre à novembre, quelle que soit l'heure de la journée. Un des effets positifs de la retenue des eaux est la hausse générale des températures nocturnes près de l'eau, de sorte que dans certaines localités, la saison de gel est raccourcie de 5 à 15 jours sur la rive, selon la capacité d'emmagasinage thermique du réservoir.

Des études des Grands lacs démontrent que les lacs de grande taille peuvent empêcher la croissance des nuages de convection et diminuer le nombre d'averses au printemps et au début de l'été (Phillips et McCulloch 1972). Le contraire semble être vrai en automne et au début de l'hiver. On a fait très peu d'études sur les nuages et la précipitation sur les lacs et les réservoirs de petite taille. Natrus (1964) disait, en concluant son étude, que la précipitation estivale au lac Omega sur la Volga est de 5 à 7 % plus faible sur le lac même qu'aux stations riveraines. D'yakonov et Retezum (1965) ont constaté qu'en juillet, dans certaines régions, le réservoir de Rybinsk est la cause directe d'une augmentation des précipitations atteignant 90 mm, mais qu'il y a une dimi-

nution de 10 mm sur le réservoir lui-même. En outre, il y a une légère différence diurne entre les chiffres. L'intensité de la précipitation est d'environ les deux tiers de l'intensité mesurée dans les stations intérieures. Au Canada, R. W. Verge (données inédites) a découvert que, pour un petit réservoir de la vallée du Fraser, en juillet, la pluviosité peut être diminuée de 20 % dans le sens du vent à partir du réservoir. Pour la même zone, les précipitations estimatives en hiver étaient d'environ 10 % supérieures.

Après la création d'un réservoir, les roses des vents sont généralement allongées dans la direction du fetch le plus long. Le nombre de jours de vent fort augmente et la fréquence des vents légers diminue probablement, et les différences entre les vitesses du vent au-dessus du lac et au-dessus des terres seraient à leur maximum la nuit et à leur minimum le jour (Phillips et Irbe 1977).

Vu la taille de certains réservoirs, des vents locaux prennent certainement la forme de brises de terre et de brises de lac. Leur intensité dépend directement de la grandeur du contraste de température entre l'air et l'eau et, inversement, de la circulation générale. La plupart du temps, la circulation locale des brises de lac sur la terre ferme au cours de la journée, et des brises de terre au large durant la nuit, prédomine pendant la saison de réchauffement (Phillips 1980).

Les études effectuées en Union soviétique indiquent que l'humidité est légèrement supérieure dans la région immédiate entourant un lac, par comparaison aux stations terrestres situées dans le sens du vent (Vendrov 1965). Buckler (1973) a constaté que la configuration du lac Diefenbaker exerçait sur l'humidité spécifique une influence trop faible pour être mesurable. Schaefer (1976) a fait des constatations semblables pour le lac Williston. Dans le cas des Grands lacs, Phillips et Irbe (1978) ont découvert que les différences entre la température du point de rosée sur le lac et la même température sur la terre étaient négatives pendant toute l'année, sauf en mai et en juin, alors que les points de rosée au-dessus du lac étaient de 1 ou 2°C inférieurs à ceux de la terre ferme.

Un des plus complexes, peut-être, des problèmes à considérer dans l'évaluation des effets climatiques des nouvelles retenues d'eau, est la différence entre le régime d'évaporation d'une masse d'eau libre et celui d'une couverture végétale comme une couche de lichens ou une forêt de conifères. Le problème est compliqué par le fait que plusieurs paramètres météorologiques entrent en jeu, notamment l'humidité du sol, l'humidité totale, la pression atmosphérique, le rayonnement et le vent. Vowinckel et Orvig (1974), calculant

l'impact du projet de développement de la baie James, concluaient que l'évaporation serait réduite après la création du réservoir. Ils donnaient trois raisons : la plus grande persistance de la couverture de glace au printemps réduirait l'absorption du rayonnement solaire; l'eau aurait un taux d'évaporativité plus faible que celui de la végétation épaisse; et, en automne, quand les couches turbulentes au-dessus du lac sont à leur maximum, une plus forte proportion de l'énergie serait exprimée sous forme de flux de chaleur sensible, de sorte que l'évaporation annuelle sur le lac serait réduite.

De nombreux indices portent à croire que le brouillard devient plus fréquent après la construction de lacs et de réservoirs artificiels. Le brouillard peut être créé par le passage de l'air froid au-dessus d'une eau plus chaude ou par l'advection d'air chaud et humide au-dessus d'un lac froid. Outre le réservoir lui-même, d'autres réalisations, comme les tours, et les bassins de refroidissement, peuvent constituer des sources de fumée de mer, dans certaines conditions météorologiques.

Peu après la débâcle, l'eau reçoit la condensation de l'air chaud et humide qui passe au-dessus. Ce contact peut créer des bancs de brouillard persistants, surtout au-dessus de l'eau plus froide. Le brouillard pourrait ensuite être transporté par advection au-dessus des terres environnantes.

Avant le gel, l'air froid qui entre en contact avec l'eau plus chaude du réservoir, peut entraîner le dépôt de glace sur la surface qui l'entoure. Lorsque de telles conditions sont accompagnées de vents modérés ou puissants, le dépôt de glace par le gel de l'écume peut constituer un danger à quelques centaines de mètres de l'eau libre, dans le sens du vent. Dans des conditions semblables, et à des températures près du point de congélation, on peut prévoir l'accumulation et le durcissement d'une neige lourde et humide sur les objets exposés comme la végétation et les canalisations électriques. On a constaté des accumulations de 125 mm (Chainé et coll. 1975). Des températures au-dessous -30°C et des vents légers constituent la condition idéale pour la formation d'un brouillard glacé près des sources d'humidité comme les compresseurs ou une circulation automobile très lente. Dans certains brouillards de basse altitude, un givre épais peut s'accumuler sur les immeubles et ouvrages. Buckler (1973) signale l'événement suivant au lac Diefenbaker : une fumée de mer a formé des « murs » de nuages qui se sont dirigés vers la rive et ont déposé de 50 à 75 cm de cristaux de glace sur les arbres et autres objets dans un rayon de 3 km de la rive.



Les résultats des études climatologiques des impacts des réservoirs sont en général inapplicables d'un projet à l'autre. Chaque projet exige des analyses spécifiques puisque ces effets dépendent de la morphologie du réservoir et des caractéristiques climatologiques de la région. Nemeč (1973) préconise une accumulation systématique de données hydrométéorologiques, et l'estime comme la première et la plus importante des actions visant à mieux comprendre l'interaction entre les lacs artificiels et l'atmosphère.

### Autres effets des retenues d'eau

La construction de barrages ou même des routes, d'aéroports ou d'un ouvrage quelconque, a des conséquences nécessaires qui n'exigent pas de connaissances exhaustives en écologie pour être perçues. Dans les régions habitées le bruit, la poussière et l'augmentation de la circulation automobile ennuient et incommode les résidents. Dans les régions éloignées, la faune est incommodée et les occasions de braconnage sont trop belles. L'élimination de la végétation et de la couverture de sol aux fins de la construction d'une route, et le retrait de matériaux des carrières et fosses d'emprunt laisseront probablement des marques désagréables sur le paysage, accéléreront l'érosion et accroîtront la charge de sédiments dans les cours d'eau du bassin hydrographique en cause. Lorsqu'une activité de construction est concentrée dans une région relativement petite, comme c'est le cas dans le projet hydro-électrique de Wreck Cove en Nouvelle-Écosse (Kelly 1978), les conséquences peuvent être graves. Les barrages en enrochements et les barrages en terre, en particulier, exigent des volumes imposants de matériaux; par exemple le barrage LG 2 du projet de la baie James a exigé environ  $150 \times 10^6$  m<sup>3</sup> de remblai. Le rejet des déchets de tous genres peut constituer un problème, surtout dans les régions éloignées. À moins que des règles strictes ne soient imposées et mises en vigueur, il est probable que la région soit recouverte de débris comme des barils de combustible et des pneus usés, ainsi que des déchets de tous genres. Le rejet non contrôlé des déchets liquides, comme les eaux usées et l'huile à moteur usée, peut créer des problèmes encore plus sérieux.

Des dommages considérables de ce genre ont été faits pendant les débuts du projet de la baie James (Gauquelin 1978). Par la suite, la Société a rédigé des directives relatives à la protection de l'environnement, directives que les divers entrepreneurs étaient obligés de respecter, et garanti leur respect par la création d'une équipe d'inspec-

teurs qui surveillait toutes les activités sur le chantier et fournissait des conseils au besoin (Dufort 1978).

En même temps, la Société entreprit un programme de recherches pour identifier les meilleurs moyens de restaurer les régions touchées par les activités de construction, en plantant soit des plantes locales soit des espèces exotiques capables de s'adapter avec succès (Brouillette et Marceau 1978).

Parfois, les barrages ne tiennent pas, entraînant la perte de vies humaines et, presque toujours, des conséquences plus ou moins catastrophiques pour l'environnement. La décharge soudaine d'eau et de sédiments peut provoquer des changements importants dans le cours d'eau en aval (Chen et Simons 1979). Quand le barrage Teton en Idaho céda en 1976, non seulement il y eut des dommages considérables en aval, mais plusieurs milliers de livres de pesticides et d'autres produits chimiques furent dispersés sur la région submergée et dans la rivière en aval du barrage. Plus tard, les concentrations de certains de ces composés chimiques dans les poissons, atteignirent presque les niveaux admissibles maximaux pour les poissons servant à l'alimentation humaine (Perry 1979). On a calculé (Mark et Stuart-Alexander 1977) que le taux de rupture des barrages est de  $1 \times 10^{-4}$  à  $5 \times 10^{-4}$  par année-barrage. Lorsqu'on veut mesurer les effets environnementaux possibles des barrages, la possibilité de rupture du barrage doit être prise en considération.

Dans les climats froids, les barrages peuvent modifier les régimes de glace des rivières. La réduction de la vitesse du courant en amont du barrage favorise en général un gel prématuré et une débâcle plus tardive que sur les rivières non régularisées. En aval du barrage, par contre, le déversement de l'eau relativement chaude de l'hypolimnion tend à maintenir la rivière libre de glace sur une certaine distance. Le sujet a fait l'objet d'une attention considérable en U.R.S.S. (Rossinsky et Lubomirova 1975) mais on semble avoir publié très peu d'articles sur le sujet au Canada, bien que Kerr (1973) ait signalé que les embâcles peuvent sérieusement incommode l'exploitation des centrales hydro-électriques. Les canalisations de prélèvement de l'eau sur les Grands lacs ont été à l'occasion complètement bloquées par la glace (Foulds 1974). Le problème général de la prévention et de l'élimination des embâcles a fait l'objet de bien des études de la part des ingénieurs, et les techniques générales applicables sont probablement tout aussi applicables autour des barrages.

## Les effets sociaux des retenues d'eau

On construit des barrages parce qu'on estime qu'ils ont des effets bénéfiques sur l'ensemble de la société. Ils peuvent cependant avoir des effets néfastes, comme ceux décrits plus haut. Dans les régions agricoles et industrielles du sud du Canada, il est possible, en principe, de peser le pour et le contre et d'en arriver à une décision rationnelle de donner suite au projet ou non. Les difficultés pratiques peuvent être considérables. Par exemple, il n'a pas encore été possible de concevoir un plan d'ensemble pour l'aménagement du Fraser, qui assurerait un contrôle adéquat des inondations sans entraîner des dommages inacceptables aux cours d'eau empruntés par les saumons (Sewell 1977). Lorsque les pertes prévues ne sont pas purement économiques comme l'inondation des terres, mais constituent quelque chose de moins tangible comme la destruction d'un paysage naturel d'une grande beauté, le problème peut être plus difficile, mais les techniques d'analyse des coûts et des bénéfices peuvent s'avérer utiles (Bohm et Henry 1979).

Dans les parties septentrionales du Canada, la situation est très différente. Une grande partie des habitants, pour la plupart des Amérindiens et des Inuit, maintiennent un style de vie traditionnel, en subsistant de la chasse, de la pêche et du piégeage. Ces sociétés fragiles sont menacées de perturbations graves si leurs lieux de chasse et de piégeage traditionnels sont submergés, si les populations de poissons de leurs cours d'eau sont détruites, ou si leurs communautés sont envahies par un nombre important d'étrangers dont les valeurs culturelles sont différentes. La recherche écologique dans ces régions peut, à la rigueur, définir les problèmes, mais elle a très peu de solutions à offrir.

Le plus vaste projet de développement du Nord tenté jusqu'ici, le projet de la baie James, a bien illustré ces problèmes, surtout à cause du processus de règlement des revendications foncières des autochtones. Au début du projet, au stade du développement, les revendications foncières fondées sur les droits des autochtones ont présenté des problèmes de nature juridique, qui ont été résolus par la négociation d'une convention détaillée entre le gouvernement fédéral, le gouvernement du Québec, les représentants des Cris et des Inuit, et les trois sociétés de la Couronne en cause (Convention de la Baie James et du Nord québécois 1976). Outre les compensations financières, la Convention établit la configuration du projet hydro-électrique, prévoit des mesures pour alléger les effets sur la chasse, la pêche et le piégeage traditionnels et

propose des mesures pour la protection des valeurs sociales et culturelles des peuples autochtones. L'évolution sociale de ces communautés sera surveillée avec grand intérêt par tous ceux qui s'intéressent aux conséquences du développement sur les peuples du Nord canadien.

Les problèmes que nous venons d'aborder ont été traités avec beaucoup plus de profondeur dans une communication inédite de P. Boothroyd pour la Direction générale des terres d'Environnement Canada.

## Conclusions

Il y a déjà presque 40 ans (Ellis 1941) qu'était publiée probablement la première étude générale des aspects environnementaux des retenues d'eau. Par la suite, le sujet a reçu très peu d'attention, sauf peut-être en U.R.S.S., mais, depuis le milieu des années 60, il attire de plus en plus l'attention et fait l'objet d'études et de congrès nombreux (Ackerman et coll. 1973; American Fisheries Society 1967; Baxter 1977; Geen 1974; Larkin 1972; Lowe-McConnell 1966; Obeng 1969, 1977; Efford 1975a). L'étude des conséquences environnementales des retenues d'eau, ne doit pas être limitée au voisinage immédiat du réservoir, mais doit tenir compte des conséquences possibles loin (peut-être à des centaines de kilomètres) en aval. De telles études doivent également faire entrer en jeu nombre de disciplines scientifiques, de la biologie du phytoplancton à la biogéographie des deltas et des estuaires, de la chimie physique des gaz en solution à la météorologie et à la géophysique.

Il est probable que la nature générale des conséquences des barrages est maintenant raisonnablement bien comprise, mais nous sommes encore loin d'être en mesure de prédire, spécifiquement et quantitativement, l'impact d'un projet donné.

La plupart des endroits convenant à un développement hydro-électrique dans le sud du Canada, sont déjà exploités ou en voie de développement. L'opportunité du développement de sites plus éloignés dépendra dans une large mesure d'une interaction complexe entre les forces économiques reliées aux besoins énergétiques totaux et le coût relatif des diverses options. Nombre de problèmes environnementaux sérieux devront être étudiés en sus des problèmes purement économiques. La construction des réservoirs à d'autres fins (contrôle des inondations, approvisionnement en eau, dissipation de la chaleur produite par les installations thermoélectriques) continuera en dépit des problèmes environnementaux qui les accompagnent.

Ce serait une erreur de faire entièrement confiance aux expériences étrangères pour trouver des solutions aux problèmes qui surgiront au Canada. Les ingénieurs et experts de l'environnement canadiens qui s'intéressent aux réservoirs, ont probablement une meilleure connaissance des travaux faits aux États-Unis, parmi les travaux accomplis à l'étranger. Une bonne part de l'expérience américaine est sans doute applicable ici, mais les températures plus basses qu'on retrouve au Canada devraient inciter à la prudence. Nombre de problèmes qui sont importants au Canada sont inexistantes aux États-Unis (sauf peut-être en Alaska), comme par exemple l'évolution du rivage sur le pergélisol et les effets de la régulation des grandes rivières s'écoulant vers le nord. Dans ce dernier domaine, l'expérience de la Scandinavie et de l'U.R.S.S. peut servir de point de départ, mais là encore, la prudence est de mise.

Heureusement, les milieux scientifiques canadiens semblent posséder les connaissances et l'expérience nécessaires pour résoudre avec compétence pratiquement tous les problèmes que nous avons mentionnés. Certains problèmes reliés à la sédimentation et à l'érosion, et aux pêcheries, ont été étudiés par des scientifiques dans des laboratoires de l'administration publique. D'autres ont été étudiés par des universitaires à titre personnel.

Dans au moins un cas, celui du delta des rivières de La Paix et Athabasca, un groupe formé expressément pour étudier le problème, a acquis une expérience qui devrait s'avérer d'une valeur considérable pour la résolution des problèmes futurs. Les recherches en cours au lac Southern Indian devraient nous permettre de mieux comprendre les événements qui accompagnent l'inondation du pergélisol et l'influence de ces événements sur les communautés biologiques de la région en cause. Surtout, les études faites autour du projet de la baie James par Environnement Canada, la Société de développement de la Baie James et surtout les Services de l'environnement de la Société d'énergie de la Baie James, seront d'une valeur inestimable pour quiconque entreprendra des projets semblables dans le Nord, autant pour les études initiales de base (Anonyme 1977; Société d'énergie de la Baie James 1978b) que pour les techniques d'adoucissement des effets (Soucy 1978a).

Une bonne compréhension de l'écologie et une réelle sympathie pour les sentiments et aspirations des personnes les plus touchées, devraient faciliter grandement la prévention des conséquences environnementales et sociales indésirables du développement futur des ressources hydrauliques du Canada.

## Références

- AAGAARD, H. ET L. K. COACHMAN, 1975, Toward an ice-free Arctic Ocean, *Eos* 56: 484-486.
- ABERNATHY, A. R. ET P. M. CUMBIE, 1977, Mercury accumulation by largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in recently impounded reservoirs, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 17: 595-602.
- ACKERMAN, W. C., G. F. WHITE, E. B. WORTHINGTON ET J. L. IVENS [éd.], 1973, *Man-made lakes: their problems and environmental effects*, American Geophysical Union, Washington, D.C., 847 p.
- ADAMS P. T. B., T. BYRNE, A. G. DUGUID, F. G. HOWIE, B. LANDEEN, D. G. LEMARQUAND, T. L. PERRY JR. ET M. TURNER, 1971, *The future of the Skagit Valley*, Report submitted to the International Joint Commission, Vancouver, B.C., 186 p.
- ALLAN, R. J., 1978, Natural controls of dissolved solids in Boundary Reservoir, Saskatchewan, *Can. Water Resour. J.* 3(3): 78-96.
- ALLAN, R. J. ET D. J. RICHARDS, 1978, Effect of a thermal generating station on dissolved solids and heavy metals in a prairie reservoir, *Environ. Can., Dir. Gén. des eaux intérieures Sci. Ser.* 93: 20 p.
- AMERICAN FISHERIES SOCIETY, 1967, *Reservoir Fishery Resources Symposium*, Univ. Georgia, Athens, Ga., 569 p.
- 1976, Special session, Biological considerations of pumped storage development, *Trans. Am. Fish. Soc.* 105: 155-180.
- AMOS, C. L., 1977, Effects of tidal power structures on sediment transport and loading in the Bay of Fundy-Gulf of Maine system, p. 233-252, dans G. R. Daborn [éd.] *Fundy tidal power and the environment*, *Procès-verbal de l'atelier sur les conséquences environnementales de l'usine marémotrice de la Baie de Fundy, Wolfville (N.-É.), 4-5 nov. 1976*, Acadia Univ. Inst., Wolfville, N.S.
- ANDERSON, H. W., 1974, Sediment deposition in reservoirs associated with rural roads, forest fires, and catchment attributes, p. 87-95, dans *Effects of man on the interface of the hydrological cycle with the physical environment*, *Int. Assoc. Hydrol. Sci. Publ.* 113.
- ANONYME 1962, The effect of regulation of the Peace River, Min. des Aff. Ind. et des Ress. Nat., Dir. des ress. en eau, Ottawa (Ontario), 1<sup>er</sup> rapport provisoire, 22 p.
- 1972, *The Peace-Athabasca Delta, a Canadian resource*, Préparé par le Peace-Athabasca Delta Project Group pour les ministères de l'Environnement du Canada, de l'Alberta et de la Saskatchewan, 144 p.
- 1973, *The Peace-Athabasca Delta Project*, Rapport technique, Préparé par le Peace-Athabasca Delta Project Group pour les ministères de l'Environnement du Canada, de l'Alberta et de la Saskatchewan, 176 p.
- 1974, *The restoration of water levels in the Peace-Athabasca Delta*, Report and recommendations, Alberta Environment Conservation Authority, Edmonton, Alta., 136 p.
- 1975, *Participation canadienne à la décennie hydrologique internationale*, Rapport final 4 vol., Comité national canadien de la décennie hydrologique internationale.
- 1977, *Procès-verbal du Symposium 1976 sur la Baie James et l'environnement*, Environnement Canada, Société de développement de la Baie James et Société d'énergie de la Baie James, Montréal (Québec), 883 p.
- 1978, Eels in Great Lakes-St. Lawrence, *Can. Water Resour. J.* 3(4): 148.
- ARTHUR J. R., L. MARGOLIS ET H. P. ARAI, 1976, Parasites of fishes of Aishihik and Stevens Lakes, Yukon Territory, and potential consequences of their interlake transfer through a proposed water diversion for hydroelectrical purposes, *J. Fish. Res. Board Can.* 33: 2489-2499.
- AVAKYAN, A. B., 1975, Problems of creating and operating reservoirs, *Sov. Hydrol.* 1975(3): 194-199.
- BAXTER, R. M., 1977, Environmental effects of dams and impoundments, *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 8: 255-283.
- BELL, M. L. ET A. NUR, 1978, Strength changes due to reservoir-induced pore pressure and stresses and application to Lake Oroville, *J. Geophys. Res.* 83: 4469-4483.
- BISWAS, A. K., 1975, A short history of hydrology, p. 57-79, dans A. K. Biswas [éd.] *Selected works in water resources*, International Water Resources Association, Champaign, Ill., 382 p.
- BODALY, R. A. ET R. E. HECKY, 1979, Post-impoundment increases in fish mercury levels in the Southern Indian Lake reservoir, Manitoba, *Fish. Mar. Serv. MS Rep.* 1531: iv + 15 p.
- BOHM, P. ET C. HENRY, 1979, Cost-benefit analysis and environmental effects, *Ambio* 8: 18-24.
- BOLLULO, D. T., 1978, L'interaction ingénierie-environnement dans la conception du complexe La Grande, p. 25-35, dans A. Soucy [éd.] *Le complexe La Grande et son environnement*, *L'ingénieur* 325.
- BOUTHILLIER, P. ET S. E. HRUDEY, 1979, *Dissolved oxygen depletion problems in ice covered prairie rivers (Abstract)*, Plains Aquatic Research Conference Abstracts, Aug. 28-29, 1979, Water Studies Institute; Canadian Plains Research Center; Dep. Extension, Univ. Regina, Regina, Sask., 16 p.
- BOYER, P. B., 1973, Gas supersaturation problem in the Columbia River, p. 104-113, dans *Water for the human environment*, *Procès-verbal du premier congrès mondial sur les ressources en eau*, vol. 3, Association internationale des ressources en eau, Champaign, Ill.
- BRASSARD, G. R., S. FROST, M. LAIRD, O. A. OLSEN ET D. H. STEELE, 1971, Studies of the spray zone of Churchill Falls, Labrador, *Biol. Conserv.* 4: 13-18.

- BRETT, J. R., 1957, Salmon research and hydroelectric power development, *Bull. Fish. Res. Board Can.* 114: 26 p.
- BRITISH COLUMBIA HYDRO AND POWER AUTHORITY, 1978, *Rapport annuel 1977/78*: 36 p.
- BROUILLETTE, J.-G. ET M. MARCEAU, 1978, Le réaménagement des sites touchés par les travaux : un domaine de recherche et un programme de réalisation à long terme, p. 46-51, dans A. Soucy [éd.] *Le complexe La Grande et son environnement, L'ingénieur* 325.
- BROWN, R. J. E., 1970, *Permafrost in Canada*, University of Toronto Press, Toronto, Ont., 234 p.
- BUCHBINDER, G., 1977, Earthquakes in a Québec hydro development, *Geos*, Fall 1977: 6-8.
- BUCKLER, S. J., 1973, Some climatic effects of a prairie reservoir on shoreline stations, *Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, Tech. Memo.* 786: 27 p.
- BUMA, P. G. ET J. C. DAY, 1977, Channel morphology below reservoir storage projects, *Environ. Conserv.* 4: 279-284.
- BURNS, F. L., 1977, Localised destratification of large reservoirs to control discharge temperatures, *Prog. Water Technol.* 9: 53-63.
- BURT, W. V., 1974, Verification of water temperature forecasts for deep stratified reservoirs, *Water Resour. Res.* 10: 93-97.
- CAMPBELL, P. G., B. BOBÉE, A. CAILLÉ, M. J. DEMALSY, P. DEMALSY, J. L. SASSEVILLE ET S. A. VISSER, 1975, Pre-impoundment site preparation: a study of the effects of topsoil stripping on reservoir water quality, *Verh. Internat. Verein Limnol.* 19: 1768-1777.
- CAMPBELL, P. G., B. BOBÉE, A. CAILLÉ, M. J. DEMALSY, P. DEMALSY, J. L. SASSEVILLE, S. A. VISSER, P. COUTURE, M. LACHANCE, R. LAPOINTE ET L. TALBOT, 1976, Effets du décapage de la cuvette d'un réservoir sur la qualité de l'eau emmagasinée : élaboration d'une méthode d'étude et application au réservoir de Victoriaville (rivière Bulstrode, Québec), *INRS-Eau, Rapp. Sci.* 37: 304 p., 3 append. (pour le ministère des Richesses naturelles du Québec).
- CHAINÉ, P. M. A., R. WAYMAN ET D. A. BONDY, 1975, *In-cloud icing: James Bay and Churchill Falls power projects, Industrial Meteorology — Study VII*, Environ. Can. Serv. Environ. Atmos., Toronto, Ont., 19 p.
- CHEN, Y. H. ET D. B. SIMONS, 1979, An experimental study of hydraulic and geomorphic changes in an alluvial channel induced by failure of a dam, *Water Resour. Res.* 15: 1183-1188.
- CLARK, R. H., 1978, Power from the tides, *Geos*, Fall 1978: 12-14.
- CLAY, C. H., 1961, Design of Fishways and other Fish Facilities, min. des Pêches du Canada, Ottawa (Ontario), 301 p.
- COAKLEY, J. B. ET P. F. HAMBLIN, 1967, Investigation of bank erosion and nearshore sedimentation in Lake Diefenbaker, Canada Centre for Inland Waters, Burlington, Ont., 18 p.
- COLLINS, G. B., 1976, Effects of dams on Pacific salmon and steelhead trout, *Mar. Fish. Rev.* 38(11): 39-46.
- CONVENTION DE LA BAIE JAMES ET DU NORD QUÉBÉCOIS, 1976, Éditeur officiel du Québec, Québec (Québec), 455 p.
- CUERRIER, J.-P., 1954, The history of Lake Minnewanka with reference to the reaction of lake trout to artificial changes in environment, *Can. Fish. Cult.* 15: 1-9.
- DABORN, G. R. [ÉD.], 1977, Fundy tidal power and the environment, *Procès-verbal de l'atelier sur les conséquences environnementales de l'usine marémotrice de la Baie de Fundy, Wolfville (N.-É.) 4-5 nov. 1976*, Acadia Univ. Inst., Wolfville, N.S., 304 p.
- DADSWELL, M. J., 1974, A physical and biological survey of La Grande River estuary, James Bay, Quebec, *Can. Field-Nat.* 88: 477-480.
- DAVIS, E., R. B. SMITH ET G. GOOS, 1973, Predicting reservoir quality charges — a laboratory investigation, p. 40-54, dans *Procès-verbal d'un symposium sur les lacs de l'Ouest canadien*, Univ. Alberta Water Resources Centre, Edmonton, Alta., 455 p.
- DOMINY, C. L., 1973, Recent changes in Atlantic salmon (*Salmo salar*) runs in the light of environmental changes in the Saint John River, New Brunswick, Canada, *Biol. Conserv.* 5: 105-113.
- DUCHARME, L. J. A., 1972, An application of louver deflectors for guiding Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts from power turbines, *J. Fish. Res. Board Can.* 29: 1397-1404.
- DUFORT, J., 1978, La protection de l'environnement sur le territoire de la Baie James lors de la construction des ouvrages, p. 41-44, dans A. Soucy [éd.] *Le complexe La Grande et son environnement, L'ingénieur* 325.
- DUTHIE, H. C., 1979, Limnology of subarctic Canadian lakes and some effects of impoundment, *Arct. Alp. Res.* 11: 145-158.
- DUTHIE, H. C. ET W. L. KIRTON JR., 1969, Primary productivity and standing crops of phytoplankton in Belwood Reservoir, *Can. J. Bot.* 48: 665-670.
- DUTHRIE, H. C. ET M. L. OSTROFSKY, 1975, Environmental impact of the Churchill Falls (Labrador) hydroelectric project: a preliminary assessment, *J. Fish. Res. Board Can.* 32: 117-125.
- D'YAKONOV, K. N. ET A. YU. RETEYUM, 1965, The local climate of the Rybinsk Reservoir, *Sov. Geogr.: Rev. Transl.* 6(10): 40-52.
- EALLES, J. G., 1968, The eel fisheries of eastern Canada, *Bull. Fish. Res. Board Can.* 166: 79 p.
- EFFORD, I. E. [ÉD.], 1975a, Environmental impact assessment and hydroelectric projects: hindsight and foresight in Canada, *J. Fish. Res. Board Can.* 32: 97-209.
- 1975b, Assessment of the impact of hydrodams, *J. Fish. Res. Board Can.* 32: 196-209.
- ELLIOTT, J. A. [ÉD.], 1976, Large-scale modifications of fresh-water systems and their effects on the marine environment, *Hydrol. Sci. Bull.* 21:431-471.
- ELLIS, M. M., 1941, Fresh-water impoundments, *Trans. Am. Fish. Soc.* 71: 80-93.

- EL-SABH, M. I. ET V. G. KOUTITONSKY, 1977, An oceanographic study of James Bay before the completion of the La Grande hydroelectric complex, *Arctic* 30: 169-186.
- ENCYCLOPEDIA CANADIANA, 1975, *Hydro-electric power ("Hydro")*, p. 211-221, Vol. 5, Grolier of Canada Ltd., Toronto, Ont.
- FERNANDO, C. H. ET D. GALBRAITH, 1973, Seasonality and dynamics of aquatic insects colonizing small habitats, *Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. Verh.* 18: 1564-1575.
- FIALA, L., 1966, Akinetic spaces in water supply reservoirs, *Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. Verh.* 16: 685-692.
- FISCHER, H. B., 1976, Mixing and dispersion in estuaries, *Annu. Rev. Fluid Mech.* 8: 107-133.
- FISHER, S. G. ET A. LAVOY, 1972, Differences in littoral fauna due to fluctuating water levels below a hydroelectric dam, *J. Fish. Res. Board Can.* 29: 1472-1476.
- FOULDS, D. M., 1974, Ice problems at water intakes, *Can. J. Civ. Eng.* 1: 137-140.
- FOWLER, D. K. ET D. A. HAMMER, 1976, Techniques for establishing vegetation on reservoir inundation zones, *J. Soil Water Conserv.* 31: 116-118.
- FOWLER, D. K. ET J. B. MADDOX, 1974, Habitat improvement along reservoir inundation zones by large hydroseeding, *J. Soil Water Conserv.* 29: 763-765.
- FOX, I. K. ET J. P. NOWLAN, 1978, The management of estuarine resources in Canada, *Can. Environ. Advis. Counc. Rep.* 6: 54 p.
- FREDEEN, F. G. H., 1977, Some recent changes in black fly population in the Saskatchewan River system in western Canada coinciding with the development of reservoirs, *Can. Water Resour. J.* 2(3-4): 90-102.
- FRENET-ROBIN, M. ET F. OTTMANN, 1978, Comparative study of the fixation of inorganic mercury on the principal clay minerals and the sediments of the Loire estuary, *Estuarine Coastal Mar. Sci.* 7: 425-436.
- FRIESEN, B. F. ET J. C. DAY, 1977, Hydroelectric power and scenic provisions of the 1950 Niagara Treaty, *Water Resour. Bull.* 13: 1175-1189.
- GARRETT, C. J. R., J. R. KEELEY ET D. A. GREENBERG, 1978, Tidal mixing versus thermal stratification in the Bay of Fundy and the Gulf of Maine, *Atmosphere-Ocean* 16: 403-423.
- GAUQUELIN, M., 1978, La Baie James pour le meilleur et pour le pire, *Qué. Sci.*, sept. 78: 15-26; oct. 78: 33-39.
- GEEN, G. H., 1974, Effects of hydroelectric development in western Canada on aquatic ecosystems, *J. Fish. Res. Board Can.* 31: 913-927.
- 1975, Ecological consequences of the proposed Moran Dam on the Fraser River, *J. Fish. Res. Board Can.* 32: 126-135.
- GILL, A. C., J. R. MCHENRY ET J. C. RITCHIE, 1976, Efficiency of nitrogen, carbon and phosphorus retention by small agricultural reservoirs, *J. Environ. Qual.* 5: 310-315.
- GILL, C. J., 1977, Some aspects of the design and management of reservoir margins for multiple use, *Appl. Biol.* 2: 129-182.
- GILL, C. J. ET A. D. BRADSHAW, 1971, Some aspects of the colonization of upland reservoir margins, *J. Inst. Water Eng.* 25: 165-173.
- GILL, D., 1971, Damming the Mackenzie: a theoretical assessment of the long-term influence of river impoundment on the ecology of the MacKenzie River Delta, p. 204-222, dans *Procès-verbal d'un symposium sur le delta La Paix-Athabasca, 14-15 jan. 1971*, Univ. Alberta, Edmonton, Alta. 359 p.
- 1972, The point bar environment in the Mackenzie River Delta, *Can. J. Earth Sci.* 9: 1382-1393.
- 1973, Modification of northern alluvial habitats by river development, *Can. Geogr.* 17: 138-153.
- 1975, The Mackenzie River Delta and upstream hydro-electric developments, dans *Mackenzie Delta: priorities and alternatives, Procès-verbal d'une conférence, 3-4 déc. 1975*, Canadian Arctic Resources Committee, Ottawa, Ont. (non paginé)
- GILL, D. ET A. D. COOKE, 1974, Controversies over hydroelectric developments in sub-arctic Canada, *Polar Rec.* 17: 109-127.
- GOODWIN, P., 1976, Volta ten years on, *New Sci.* 71: 596-597.
- GORDON, D. C. ET A. R. LONGHURST, 1979, The environmental aspects of a tidal power project in the upper reaches of the Bay of Fundy, *Mar. Pollut. Bull.* 10: 38-45.
- GORE, J. A., 1977, Reservoir manipulations and benthic macroinvertebrates in a Prairie river, *Hydrobiologia* 55: 113-123.
- GOUGH, D. I. ET W. I. GOUGH, 1970, Load-induced earthquakes at Kariba II, *Geophys. J. R. Astron. Soc.* 21: 79-101.
- GRAINGER, E. H., 1977, The marine plankton of James Bay, p. 111, dans *Anonyme, Procès-verbal du symposium 1976 sur la Baie James et l'environnement*, Environnement Canada, Société de développement de la Baie James et Société d'énergie de la Baie James, Montréal (Québec).
- GRAINGER, E. H. ET S. MCSWEEN, 1976, Marine zooplankton and some physical-chemical features of James Bay related to La Grande hydro-electric development. *Fish. Mar. Serv. Tech. Rep.* 650: 94 p.
- GRANT, C., 1967, *Rock art of the American Indian*, Promontory Press, New York, N.Y., 178 p.
- GREENBERG, D., 1977, Effects of tidal power development on the physical oceanography of the Bay of Fundy and Gulf of Maine, p. 200-232, dans G. R. Daborn [éd.] *Fundy tidal power and the environment, Procès-verbal de l'atelier sur les conséquences environnementales de l'usine marémotrice de la Baie de Fundy, Wolfville (N.-É.), 4-5 nov. 1976*, Acadia Univ. Inst., Wolfville, N.S.
- GRIMÁS, U., 1965, Inlet impoundments, An attempt to preserve littoral animals in regulated subarctic

- lakes, *Inst. Freshwater Res. Drottningholm Rep.* 46: 22-30.
- GUILBAULT, R. A., W. D. GUMMER ET V. T. CHACKO, 1979, The Churchill diversion: water quality changes in the lower Churchill and Burntwood rivers, Inland Water Dir., Western and Northern Region, Water Quality Branch, Regina, Sask., *Water Qual. Interpr. Rep.* 2: 9 p.
- GUPTA, H. K. ET B. K. RASTOGI, 1976, *Dams and earthquakes*, Elsevier, Amsterdam, 229 p.
- GUTHRIE, W., 1976, The Grand Coulee Dam, p. 109-111, dans H. Leventhal and M. Guthrie [éd.] *The Woodie Guthrie songbook*, Grosset and Dunlap, New York, N.Y., 253 p.
- HAGAN, R. M. ET E. B. ROBERTS, 1972, Ecological impacts of water projects in California, *J. Irrig. Drain. Div., Am. Soc. Civ. Eng.*, March 1972: 25-48.
- HAMMAD, H. Y., 1972, River bed degradation after closure of dams, *J. Hydraul. Div. Am. Soc. Civ. Eng.*, April 1972: 591-605.
- HANNAN, H. H., D. B. BARROWS, I. R. FUCHS, R. D. SEGURA ET D. C. WHITENBERG, 1979, Limnological and operational factors affecting water quality in Canyon Reservoir, Texas, p. 39-48, dans E. E. Driver and W. O. Wunderlich [éd.] *Proc. Int. Symp. on Environmental Effects of Hydraulic Engineering Works*, Knoxville Tenn., Sept. 12-14, 1978.
- HARVEY, H. H., 1975, Gas disease in fishes—a review, p. 450-485, dans W. A. Adams, G. Greer, J. E. Desnoyers, G. Atkinson, G. S. Kell, K. B. Oldham, and J. Warkley [éd.] *Chemistry and physics of aqueous gas solutions*, The Electrochemical Society, Princeton, N.J., 521 p.
- 1976, Aquatic environmental quality: problems and proposals, *J. Fish. Res. Board Can.* 33: 2634-2670.
- HASSAN, E. M., 1975, Some effects of river regulation on marginal seas, *Ocean Manage.* 2:333-344.
- HEALEY, M.C., 1979, Detritus and juvenile salmon production in the Nanaimo Estuary: I. Production and feeding rates of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*). *J. Fish. Res. Board Can.* 36:488-496.
- HODGINS, D. B., P. E. WISNER ET E. A. MCBEAN, 1977, A simulation model for screening a system of reservoirs for environmental impact, *Can. J. Civ. Eng.* 4: 1-9.
- HOFFMAN, J. I. ET N. MELAND, 1973, The effect of an artificial lake development complex on the groundwater system, p. 1-12, dans *Groundwater pollution*, Underwater Research Institute, St. Louis, Mo.
- HOLDEN, C., 1977, Endangered species: review of law triggered by Tellico impasse, *Science* 196: 1426-1428.
- HOLMES, R. M., 1972, Effect on the atmospheric boundary layer of three small man-made Prairie lakes in Alberta, p. 406-420, dans W. C. Ackerman, G. F. White, E. B. Worthington et J. L. Ivens [éd.] *Man-made lakes; their problems and environmental effects*, American Geophysical Union, Washington, D.C.
- HUNTER, J. G., B. T. KIDD, R. GREENDALE, R. BAXTER, ET R. MORIN, 1977, Fisheries resources of the lower reaches and coastal regions of Eastmain, La Grande, Roggan, and Great Whale River from 1973 to 1975, p. 299-322, dans Anonyme, *Procès-verbal du symposium 1976 sur la Baie James et l'environnement*, Environnement Canada, Société de développement de la Baie James et Société d'énergie de la Baie James, Montréal (Québec).
- HYNE, N. J., 1978, The distribution and source of organic matter in reservoir sediments, *Environ. Geol.* 2: 279-287.
- HYNES, H. B. N., 1973, The effects of sediment on the biota in running water, p. 652-663, dans *Fluvial Processes and Sedimentation, Procès-verbal d'un symposium sur l'hydrologie, 8-9 mai 1973, Edmonton (Alb.)*, Préparé pour le sous-comité de l'hydrologie par la Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, 759 p.
- 1975, The stream and its valley, *Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. Verh.* 19: 1-15.
- INRS-EAU, 1973, Destin du bois submergé lors de la création d'un réservoir dans une région boisée, *Rapp. annu.*, 1972-73: 27-28.
- INTERNATIONAL GARRISON DIVERSION STUDY BOARD, 1976, *Report*, International Joint Commission, Ottawa, Ont., 255 p.
- JACKSON, K. S., I. R. JONASSON ET G. B. SKIPPEN, 1978, The nature of metals-sediment-water interactions in freshwater bodies, with emphasis on the role of organic matter, *Earth-Sci. Rev.* 14: 97-146.
- JAMES F. MACCLAREN LTD., 1975, Review of heated discharge management and control alternatives. Once through systems in large water bodies, Préparé pour la Direction générale de la pollution des eaux, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, *EPS 3-WP-75-4*: 161 p.
- 1977, Heated discharge control and management alternatives. Small water bodies and rivers, Préparé pour la Direction générale de la pollution des eaux, Service de la pollution de l'environnement, Environnement Canada, *EPS 3-WP-77-13*: 285 p.
- KACHUGIN, E. G., 1966, The destructive action of waves on the water reservoir banks, p. 511-517, dans *Hydrology of Lakes and Reservoirs, Symp.*, Garda, Italy, Oct. 9-15, 1966, vol. 1, *Int. Assoc. Sci. Hydrol. Publ.* 70.
- KEATING, R., 1975, *Nubian Rescue*, Robert Hale, London; Hawthorne, New York, N.Y., 269 p.
- KELLERHALLS R., M. CHURCH ET L. B. DAVIES, 1979, Morphological effects of interbasin river diversions, *Can. J. Civ. Eng.* 6: 18-31.
- KELLERHALLS, R. ET D. GILL, 1973, Observed and potential downstream effects of large storage projects in northern Canada, p. 731-754, *Procès-verbal de la 11<sup>e</sup> assemblée de la Commission Internationale des grands barrages*, Madrid, Espagne.
- KELLY, D. M., 1978, *Effects of Wreck Cove hydroelectric project construction upon water quality*, thèse de M. ing., Nova Scotia Technical College, Halifax, N.S. 325 p.

- KERR, J. A., 1973, Physical consequences of human interference with rivers, p. 664-696, dans *Fluvial Processes and Sedimentation, Procès-verbal d'un symposium sur l'hydrologie, 8-9 mai 1973, Edmonton (Alb.)*, Préparé pour le sous-comité de l'hydrologie par la Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, 759 p.
- KINKEAD, E., 1979, Tennessee small fry, p. 52-55, dans *The New Yorker*, Jan. 8, 1979.
- KISSLINGER, C., 1976, A review of theories of mechanisms of induced seismicity, *Eng. Geol.* 10: 85-98.
- KITTRELL, F. W., 1959, Effects of impoundments on dissolved oxygen resources, *Sewage Ind. Wastes* 31: 1065-1078.
- KONDRATJEV, N. E., 1966, Bank formation of newly established reservoirs, p. 804-811, dans *Hydrology of Lakes and Reservoirs, Symp. Garda, Italy, Oct. 9-15, 1966, Vol. 2, Int. Assoc. Sci. Hydrol. Publ.* 70.
- LABERGE, E. ET K. H. MANN, 1976, The importance of water discharge in determining phytoplankton biomass in a river impoundment, *Nat. Can.* 103: 191-201.
- LAGLER, K. F., 1969, *Man-made lakes. Planning and development*, FAO, Rome, 71 p.
- LAKE WINNIPEG, CHURCHILL AND NELSON RIVERS STUDY BOARD, 1975, *Technical Report*, Winnipeg, Man.
- LARKIN, P. A., 1972, The environmental impact of hydro power, p. 162-175, dans I. E. Efford and B. M. Smith [éd.] *Energy and the environment*, H. R. MacMillan Lectures for 1971, Institute of Resource Ecology, Univ. British Columbia, Vancouver, B.C.
- LARKIN, P. A. ET ÉTUDIANTS DIPLÔMÉS 1959, The effects on fresh water fisheries of man-made activities in British Columbia, *Can. Fish. Cult.* 25 (Oct. 1959): 27-59.
- LAWLER, G. H., 1970, Parasites of coregonid fishes, p. 279-309, dans C. C. Lindsay et C. S. Wood [éd.] *Biology of coregonid fishes* University of Manitoba Press, Winnipeg, Man., 560 p.
- LEFOLII, K., 1970, *The Saint Lawrence Valley*, NSL Natural Science of Canada Ltd., Toronto, Ont., 160 p.
- LEGGET, R. F., 1961, The Jones Falls Dam on the Rideau Canal, Ontario, Canada, *Natl. Res. Council Can., Div. Build. Res. Tech. Pap.* 128: 15 p. (ré-édition de *Trans. Newcomen Soc.* 33: 205-218).
- LEHMKUHL, D. M., 1972, Change in thermal regime as a cause of reduction of benthic fauna downstream of a reservoir, *J. Fish. Res. Board Can.* 29: 1329-1332.
- 1979, Environmental disturbance and life histories: principles and examples, *J. Fish. Res. Board Can.* 36: 329-334.
- LINDSEY, C. C., 1957, Possible effects of water diversions of fish distribution in British Columbia, *J. Fish Res. Board Can.* 14: 651-668.
- LINDSTRÖM, T., 1973, Life in a lake reservoir: fewer options, decreased production, *Ambio* 2: 145-153.
- LOCH, J. S., A. J. DERKSEN, M. E. HORA ET R. B. OETTING, 1979, Potential effects of exotic fishes on Manitoba: an impact assessment of the Garrison Diversion Unit, *Fish. Mar. Serv. Tech. Rep.* 838: 39 p.
- LOWE-McCONNELL, R. H. [éd.], 1966, *Man-made lakes*, Academic Press, London, 218 p.
- MACDONALD, J. R. ET R. A. HYATT, 1973, Supersaturation of nitrogen in water during passage through hydroelectric turbines at Mactaquac Dam, *J. Fish. Res. Board Can.* 30: 1392-1394.
- MACHNIAK, K., 1975, The effects of hydroelectric development on the biology of northern fishes (reproduction and population dynamics). I. Lake whitefish *Coregonus clupeaformis* (Mitchill). II. Northern pike, *Esox lucius* (Linnaeus). III. Yellow walleye, *Stizostedion vitreum vitreum* (Mitchill). IV. Lake trout, *Salvelinus namaycush* (Walbaum). *Fish. Mar. Serv. Tech. Rep.* 527: 67 p.; 528: 82 p.; 529: 68 p.; 530: 52 p.
- MARCOTTE, N., 1977, Régime thermique des futurs réservoirs LG-2, LG-3 et LG-4, p. 451-481, dans *Anonyme Procès-verbal du symposium 1976 sur la Baie James et l'environnement*, Environnement Canada, Société de développement de la Baie James et Société d'énergie de la Baie James, Montréal (Québec).
- MARK, R. K. ET D. E. STUART-ALEXANDER, 1977, Disasters as a necessary part of benefit-cost analyses, *Science* 197: 1160-1162.
- MCBEAN, E. A. ET R. J. DELUCIA, 1979, Systems analysis applied to the St. John River, *Can. J. Civ. Eng.* 6: 423-431.
- McKEE, G. D., L. P. PARRISH, C. R. HIRTH, K. M. MACKENTHUM ET L. E. KEUP 1970, Sediment-water nutrient relationship, *Water and Sewage Works June 1970*: 203-206; July 1970: 246-249.
- MCLACHLAN, A. J., 1977, The changing role of terrestrial and autochthonous organic matter in newly flooded lakes, *Hydrobiologia* 54: 215-217.
- MCNICHOLS, J. L., W. S. GINELL ET J. S. CORY, 1979, Thermoclines: a solar thermal energy resource for enhanced hydroelectric power production, *Science* 203: 167-168.
- MEISTER, J. F., J. DiNUNZIO ET J. A. COX, 1979, Source and level of mercury in a new impoundment, *J. Am. Water Works Assoc.* 71: 574-576.
- MILLER, R. B. ET M. J. PAETZ, 1959, The effect of power, irrigation, and stock water developments on the fisheries of the South Saskatchewan River, *Can. Fish Cult.* 25 (Oct. 1959): 13-26.
- MILNE, W. G. ET M. J. BERRY, 1976, Induced seismicity in Canada, *Eng. Geol.* 10: 219-226.
- MUSIAL, C. J., J. F. ÜTHE, R. J. WISEMAN ET R. A. MATHESON, 1979, Occurrence of PCB residues in burbot (*Lota lota*) and lake trout (*Salvelinus namaycush*) from the Churchill Falls power development area, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 23: 256-261.
- NAIMAN, R. J. ET J. R. SIBERT, 1979, Detritus and juvenile salmon production in the Nanaimo Estuary: III. Importance of detrital carbon to the estuarine ecosystem, *J. Fish. Res. Board Can.* 36: 504-520.



- NATRUS, A. A., 1964, On the subject of evaluation of precipitation as a component of the water balance of reservoirs and lakes, *Sov. Hydrol.* 1964 (5): 431-441.
- NEMEC, J., 1973, Interaction between reservoirs and the atmosphere and its hydrometeorological elements, p. 398-405, dans W. C. Ackerman, G. F. White, E. B. Worthington et J. L. Ivens [éd.] *Man-made lakes: their problems and environmental effects*, American Geophysical Union, Washington, D.C., 847 p.
- NEU, H. J. A., 1975, Runoff regulation for hydro power and its effect on the ocean environment, *Can. J. Civ. Eng.* 2: 583-591.
- NEWBURY, R. W., K. G. BEATY ET G. K. MCCULLOUGH, 1978, Initial shoreline erosion in a permafrost affected reservoir, Southern Indian Lake, Canada, p. 833-839, dans *Procès-verbal de la 3<sup>e</sup> Conférence internationale sur le pergélisol, Edmonton (Alb.), 10-13 juillet 1978*, vol. 1, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Ontario).
- NEWBURY, R. W. ET G. W. MALAHER, 1972, The destruction of Manitoba's last great river, *Nat. Can. (Ottawa)* 1(4): 4-13.
- NURSALL, J. R., 1952, The early development of a bottom fauna in a new power reservoir in the Rocky Mountains of Alberta, *Can. J. Zool.* 30: 387-409.
- 1969, Faunal changes in oligotrophic man-made lakes: experience on the Kananaskis River system, p. 163-175, dans L. E. Obeng [éd.] *Man-made lakes: the Accra Symposium*, Ghana Universities Press, Accra, Ghana.
- OBENG, L. E. [ÉD.], 1969, *Man-made lakes: the Accra Symposium*, Ghana Universities Press, Accra, Ghana, 398 p.
- 1977, Should dams be built? The Volta Lake example, *Ambio* 6: 46-50.
- ODUM E. P., 1971, *Fundamentals of ecology*, 3<sup>e</sup> éd., W. B. Saunders, Philadelphia, Pa., 574 p.
- OETTING, R. B., 1977, How the Garrison Dam project affects Canada, *Can. Geogr. J.*, Oct.-Nov. 1977: 38-45.
- OGLESBY, G. B., W. C. NOELL, H. O. DELO, W. A. DYER, R. H. ENGLAND, J. R. FATORA, J. M. GRIZZLE ET S. J. DEUTSCH, 1978, Toxic substances in discharges of hypolimnetic waters from a seasonally stratified impoundment, *Environ. Conserv.* 5: 287-293.
- ONTARIO MINISTRY OF NATURAL RESOURCES, 1972, Research review, *Res. Branch Annu. Proj. Rep.* 1971: 132 p.
- ONTARIO MINISTRY OF TREASURY, ECONOMICS, AND INTERGOVERNMENT AFFAIRS, 1975, *Ontario statistics 1975*, Vol. 2, Econ. Ser. Toronto, Ont., 730 p.
- OSTROFSKY, M. L., 1978, Trophic changes in reservoirs: an hypothesis using phosphorus budget models, *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.* 63: 481-499.
- OSTROFSKY, M. L. ET H. C. DUTHIE, 1975, Primary productivity, phytoplankton and limiting nutrient factors in Labrador lakes, *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.* 60: 145-158.
- 1978, An approach to modelling productivity in reservoirs, *Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. Verh.* 20: 1562-1567.
- PARK, E. T., 1975, *Bibliographie critique sur les effets des réservoirs sur la qualité des eaux*, Division de l'ingénierie et de l'aménagement, Direction de la planification et de la gestion (eaux), Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, Ottawa (Ontario), 16 p.
- PARK, G. G. ET P. S. SCHMIDT, 1973, Numerical modeling of thermal stratification in a reservoir with large discharge-to-volume ratio, *Water Resour. Bull.* 9: 932-941.
- PATERSON, C. G. ET C. H. FERNANDO, 1970, Benthic fauna colonization of a new reservoir with particular reference to the Chironomidae, *J. Fish. Res. Board Can.* 27: 213-32.
- PECK, S., 1977, Nearshore oceanography of James Bay, p. 115-145, dans Anonyme *Procès-verbal du symposium 1976 sur la Baie James et l'environnement*, Environnement Canada, Société de développement de la Baie James et Société d'énergie de la Baie James, Montréal (Québec).
- PERRY, J. A., 1979, Pesticide and PCB residues in the upper Snake River ecosystem, southeastern Idaho, following the collapse of the Teton Dam 1976, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 8: 139-159.
- PETERS, J. C., 1979, Modification of intakes at Flaming Gorge Dam to improve water temperature in the Green River, Utah, p. 295-304, dans *Proc. Int. Symp. on Environmental Effects of Hydraulic Engineering Works*, Knoxville, Tenn., Sept. 12-14, 1978.
- PHILLIPS, D. W., 1980, Environmental climatology of Lake Superior, *J. Great Lakes Res.* (sous presse)
- PHILLIPS, D. W. ET J. G. IRBE, 1978, Lake to land comparison of wind, temperature and humidity on Lake Ontario during the International Field Year for the Great Lakes, *Atmos. Environ. Serv.* CL1-7-77: 51 p.
- PHILLIPS, D. W. ET J. A. W. MCCULLOCH, 1972, The climate of the Great Lakes basin, *Atmos. Environ. Serv. Climatol. Stud.* 20: 40 p.
- PIONKE, H. B. ET G. CHESTERS, 1973, Pesticide-sediment-water interaction, *J. Environ. Qual.* 2: 29-45.
- PITA, F. W. ET N. J. HYNE, 1975, The depositional environment of zinc, lead and cadmium in reservoir sediments, *Water Res.* 9: 701-706.
- POMEROY, W. M. ET J. G. STOCKNER, 1976, Effects of environmental disturbance on the distribution and primary production of benthic algae on a British Columbia estuary, *J. Fish. Res. Board Can.* 33: 1175-1187.
- PRATT, H. K. [ÉD.], 1970, Register of dams in Canada/ Répertoire des barrages du Canada, *Comité national canadien de la Commission internationale des grands barrages*, 142 p.
- PRITCHARD, A. L., 1959, The effects on fisheries of man-made changes in fresh water in the Maritime Provinces, *Can. Fish Cult.* 25 (Oct. 1959): 3-6.

- PURCELL, L. T., 1939, The aging of reservoir waters, *J. Am. Water Works Assoc.* 31: 1775-1806.
- RAHMAN, M., 1978, On thermal stratification in reservoirs during the winter season, *Water Resour. Res.* 14: 377-380.
- RICH, V., 1976, Watching the rivers flow, *Nature* 264: 390-391.
- 1977, USSR, *Nature* 265: 201.
- RICHARDS, J. H., 1975, Is Lake Diefenbaker justifying its planners? *Can. Geogr. J.* 91(6): 22-31.
- RICHARDS, T. L., 1969, The Great Lakes and the weather, p. 51-72, dans D. V. Anderson [éd.] *The Great Lakes as an environment*, *Great Lakes Inst. Rep. PR 39*: 189 + cvii p.
- RISK, M. J., R. K. YEO ET H. D. CRAIG, 1977, Aspects of the marine ecology of the Minas Basin relevant to tidal power development, p. 164-179, dans G. R. Daborn [éd.] *Fundus tidal power and the environment*, *Procès-verbal d'un atelier sur les conséquences environnementales d'une usine marémotrice dans la Baie de Fundy, 4-5 novembre 1976, Wolfville (Nouvelle-Écosse)*, The Acadia Univ. Inst., Wolfville, N.S.
- ROBINSON, I. S., 1978, Tidal response of a wedge-shaped estuary to the installation of a tidal power barrage: a simplified analytical approach, *Proc. Inst. Civ. Eng.* 65: 773-790.
- ROSENBERG, D. M. ET A. P. WIENS, 1978, Effects of sediment addition on macrobenthic invertebrates in a northern Canadian river, *Water Res.* 12: 753-763.
- ROSSINSKY, K. I. ET K. S. LUMBOMIROVA, 1975, The effect of hydro-power systems on ice and thermal regimes of water reservoirs and afterbays, *Int. Soc. Hydrol. Sci. Publ.* 117: 619-627.
- ROTHÉ, J. P., 1973, Summary: geophysics report, p. 441-454, dans W. C. Ackerman; G. F. White, E. B. Worthington et J. L. Ivens [éd.] *Man-made lakes: their problems and environmental effects*, American Geophysical Union, Washington, D.C.
- RUCKER, R. R., 1972, Gas bubble disease of salmonids: a critical review, *Bur. Sport Fish. Wildl. (U.S.) Tech. Pap.* 58: 11 p.
- RUGGLES, C. P. ET W. D. WATT, 1975, Ecological changes due to hydroelectric development on the Saint John River, *J. Fish. Res. Board Can.* 32: 161-170.
- RUTTNER, E., 1963, *Fundamentals of limnology*, traduit de l'allemand par D. G. Frey et F. E. J. Fry, 3<sup>e</sup> éd., University of Toronto Press, Toronto, Ont., 295 p.
- RYDER, R. A. ET H. F. HENDERSON, 1975, Estimates of potential fish yield for the Nasser Reservoir, Arab Republic of Egypt, *J. Fish. Res. Board Can.* 32: 2137-2151.
- SAUNDERS, J. W., 1960, The effect of impoundment on the population and movement of Atlantic salmon in Ellerslie Brook, Prince Edward Island., *J. Fish. Res. Board Can.* 17: 453-473.
- SCHAEFER, D. G., 1976, *Climatological impacts of Peace River regulation and a review of the possible effects of climatic change on agriculture in the area*, Report for B.C. Hydro and Power Authority, 78 p.
- SCHREIBER, J. D. ET D. L. RAUSCH, 1979, Suspended sediment-phosphorus relationship for the inflow and outflow of a flood detention reservoir, *J. Environ. Qual.* 8: 510-514.
- SCOTT, W. B. ET E. J. CROSSMAN, 1974, Poissons d'eau douce du Canada, *Bull. Fish. Res. Board Can.* 184F: 1026 p.
- SEWELL, W. R. D., 1977, Changing approaches to water management in the Fraser River basin, p. 97-121, dans G. F. White [éd.] *Environmental effects of complex river developments*, Westview Press, Boulder, Colo.
- SIBERT, J. R., 1979, Detritus and juvenile salmon production in the Nanaimo Estuary: II. Meiofauna available as food to juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*), *J. Fish. Res. Board Can.* 36: 497-503.
- SIBERT, J. R., T. J. BROWN, M. C. HEALEY, B. A. KASK ET R. J. NAIMAN, 1977, Detritus-based foodwebs: exploitation by juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*), *Science* 196: 649-650.
- SIMPSON, D. W., 1976, Seismicity changes associated with reservoir loading, *Eng. Geol.* 10: 123-150.
- SMITH, H. A., 1974, Spillway redesign abates gas supersaturation in Columbia River, *Civ. Eng. (N.Y.)* Sept. 1974: 70-73.
- SMITH, M. W. ET J. W. SAUNDERS, 1967, Movements of brook trout in relation to an artificial pond on a small stream, *J. Fish. Res. Board Can.* 24: 1743-1761.
- 1968, Effect of pond formation on catches of brook trout from a coastal stream system, *J. Fish Res. Board Can.* 25: 209-238.
- SMITH, P. M., 1976, Spillway modification to reduce gas supersaturation, p. 667-671, dans *Symp. on Inland Waterways for Navigation, Flood Control, and Water Diversions*, Vol. 1, American Society of Civil Engineers, New York, N.Y.
- SOCIÉTÉ D'ÉNERGIE DE LA BAIE JAMES, 1978a, *Réaménagement du réservoir de LG2, Devis estimatif des quantités et des coûts et échéance des travaux*, Montréal (Québec). (non paginé)
- 1978b, *Connaissance du milieu des territoires de la Baie James et du Nouveau-Québec*, Montréal (Québec), 297 p.
- SOUCY, A. [éd.], 1978a, Le complexe La Grande et son environnement, *L'ingénieur* 325 (mai/juin 1978): 4-59.
- 1978b, L'environnement du territoire de la Baie James et les principales répercussions du projet, p. 13-23, dans A. Soucy [éd.] *Le complexe La Grande et son environnement*, *L'ingénieur* 325.
- 1978c, James Bay hydroelectric development, Evolution of environmental considerations, *Can. Water Resour. J.* 3(4): 54-88.
- SPENCE, J. A. ET H. B. N. HYNES, 1971a, Differences in benthos upstream and downstream of an impoundment, *J. Fish. Res. Board Can.* 28: 35-43.
- 1971b, Differences in fish population upstream and downstream of a mainstream impoundment, *J. Fish. Res. Board Can.* 28: 45-46.

- STROUD, R. K., G. R. BOUCK ET A. V. NEBEKER, 1975, Pathology of acute and chronic exposure of salmonid fishes to supersaturated water, p. 435-449, dans W. A. Adams, G. Greer, J. E. Desnoyers, G. Atkinson, G. S. Kell, K. B. Oldham et J. Walkley [éd.] *Chemistry and physics of aqueous gas solutions*, The Electrochemical Society, Princeton, N.J., 521 p.
- SUTCLIFFE, W. H., JR., 1972, Some relations of land drainage, nutrients, particulate materials, and fish catch in two eastern Canadian bays, *J. Fish. Board Can.* 29: 357-362.
- 1973, Correlations between seasonal river discharge and local landings of American lobster (*Homarus americanus*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) in the Gulf of St. Lawrence, *J. Fish Res. Board Can.* 30: 856-859.
- SUTCLIFFE, W. H., JR., R. H. LOUCKS ET K. F. DRINKWATER, 1976, Coastal circulation and physical oceanography of the Scotian Shelf and the Gulf of Maine, *J. Fish. Res. Board Can.* 33: 98-115.
- THE SPECTATOR, 1977, *Fish poachers find a paradise*, Nov. 22, 1977, Hamilton, Ont.
- THOMAS, R. L., 1969, A note on the relationship of grain size, clay content, quartz and organic carbon in some Lake Erie and Lake Ontario sediments, *J. Sediment. Petrol.* 39: 803-809.
- TRITES, R. W. ET A. WALTON, 1975, A Canadian coastal sea — the Gulf of St. Lawrence, *Bedford Inst. Oceanogr. Rep. Ser.* BI-R-75-15.: 29 p.
- TROTZKY, H. M. ET R. W. GREGORY, 1974, The effects of water flow manipulation below a hydroelectric power dam on the bottom fauna of the upper Kennebec River, Maine, *Trans. Am. Fish. Soc.* 103: 318-324.
- TROXLER, R. W. ET E. L. THACKSTON, 1977, Predicting the rate of warming of rivers below hydroelectric installations, *J. Water Pollut. Control Fed.*, August 1977: 1902-1912.
- VAN EVERDINGEN, R. O. [non daté], Diefenbaker Lake, Effects of bank erosion on storage capacity, Min. de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Dir. gén. des eaux int. *Tech. Bull.* 10: 21 p.
- 1967, Influence of the South Saskatchewan Reservoir (Canada) on piezometric levels in underlying bedrock aquifers, *J. Hydrol.* 5: 351-359.
- 1972, Observed changes in groundwater regime caused by the creation of Lake Diefenbaker, Saskatchewan, Environ. Can., Dir. Gén. des eaux int., *Tech. Bull.* 59: 65 p.
- VENDROV, S. L., 1965, A forecast of changes in natural conditions in the northern Ob' basin in case of construction of the lower Ob' hydro project, *Sov. Geogr. Rev. Transl.* 6(10): 3-18.
- VENDROV, S. L. ET L. K. MALIK, 1965, An attempt to determine the influence of large reservoirs on local climate, *Sov. Geogr. Rev. Transl.* 6(10): 25-39.
- VLADYKOV, V. D., 1959, The effects on fisheries of man-made changes in fresh water in the province of Quebec, *Can. Fish. Cult.* 25 (Oct. 1959): 7-12.
- VOWINCKEL, E. ET S. ORVIG, 1974, Meteorological consequences of natural or deliberate changes in the surface environment, general principles with examples from the James Bay region, *McGill Univ. Publ. Meteorol.* 112: 37 p.
- WALSH, J. ET R. GANNON, 1967, *Time is short and the water rises*, E. P. Dutton and Co. Inc. New York, N.Y., 224 p.
- WARD, J. V., 1976a, Effects of flow patterns below large dams on stream benthos: a review, p. 235-253, dans J. F. Orsborn et C. H. Allman [éd.] *Instream Flow Needs Symp.* Am. Fish. Soc.
- 1976b, Comparative limnology of differentially regulated sections of a Colorado mountain river, *Arch. Hydrobiol.* 78: 319-342.
- WEBER, T. E., 1977, The Garrison diversion unit transboundary concerns — a summary of the International Garrison Diversion Study Board Report, *Can. Water Resour. J.* 2(3-4): 103-112.
- WHITE, G. F. [éd.], 1977, *Environmental effects of complex river development*, Westview Press, Boulder, Colo., 172 p.
- WHITFIELD, R. E. ET D. P. KOLENOSKY, 1978, Prototype eel ladder in the St. Lawrence River, *Prog. Fish Cult.* 40: 152-154.
- WIEBE, A. H., 1960, The effects of impoundments upon the biota of the Tennessee River system, *Procès-verbal de la 7<sup>e</sup> réunion d'étude technique de l'Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources*. Athènes, 11-19 septembre 1958, vol. IV: 101-117.
- WIEBE, K. ET L. DRENNAN, 1973, Sedimentation in reservoirs, p. 539-579, dans *Fluvial processes and sedimentation, Procès-verbal d'un symposium sur l'hydrologie, 8-9 mai 1973, Edmonton (Alb.)*, Préparé pour le sous-comité de l'hydrologie par la Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, 759 p.
- WUNDERLICH, W. O. ET R. A. ELDER, 1973, Mechanisms of flow-through man-made lakes, p. 300-310, dans W. C. Ackerman, G. F. White, E. B. Worthington et J. L. Ivins [éd.] *Man-made lakes; their problems and environmental effects*, American Geophysical Union, Washington, D.C.
- ZHADIN, V. I. ET S. V. GERD, 1963, Fauna and flora of the rivers, lakes and reservoirs of the U.S.S.R., 626 p. (Traduit du russe par le programme israélien de traduction scientifique, Jérusalem)

