

DFO - Library / MPO - Bibliothèque



14027412

## **Hypothèses reliées aux effets environnementaux du projet Grande Baleine sur l'écosystème marin côtier du sud-est de la baie d'Hudson**

M. Gilbert, D. Gauthier, J.A. Gagné, Y. Gratton,  
P. Larouche, B. Morin, R. Morin, J.A. Percy,  
T.G. Smith, G.-H. Tremblay et G. Walsh

Ministère des Pêches et des Océans  
Institut Maurice-Lamontagne  
C.P. 1000  
Mont-Joli (Québec)  
G5H 3Z4

1996

### **Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2127**

SH  
223  
F56  
2127F  
Ex. 2

Pêches et Océans  
Fisheries and Oceans

**Canada**

## **Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques**

Les rapports techniques contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui ne sont pas normalement appropriés pour la publication dans un journal scientifique. Les rapports techniques sont destinés essentiellement à un public international et ils sont distribués à cet échelon. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques du ministère des Pêches et des Océans, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports techniques peuvent être cités comme des publications complètes. Le titre exact paraît au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports techniques sont résumés dans la revue *Résumés des sciences aquatiques et halieutiques*, et ils sont classés dans l'index annuel des publications scientifiques et techniques du Ministère.

Les numéros 1 à 456 de cette série ont été publiés à titre de rapports techniques de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 457 à 714 sont parus à titre de rapports techniques de la Direction générale de la recherche et du développement, Service des pêches et de la mer, ministère de l'Environnement. Les numéros 715 à 924 ont été publiés à titre de rapports techniques du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 925.

Les rapports techniques sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement auteur dont le nom figure sur la couverture et la page du titre. Les rapports épuisés seront fournis contre rétribution par des agents commerciaux.

## **Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences**

Technical reports contain scientific and technical information that contributes to existing knowledge but which is not normally appropriate for primary literature. Technical reports are directed primarily toward a worldwide audience and have an international distribution. No restriction is placed on subject matter and the series reflects the broad interests and policies of the Department of Fisheries and Oceans, namely, fisheries and aquatic sciences.

Technical reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is abstracted in *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts* and indexed in the Department's annual index to scientific and technical publications.

Numbers 1-456 in this series were issued as Technical Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 457-714 were issued as Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Research and Development Directorate Technical Reports. Numbers 715-924 were issued as Department of Fisheries and the Environment, Fisheries and Marine Service Technical Reports. The current series name was changed with report number 925.

Technical reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page. Out-of-stock reports will be supplied for a fee by commercial agents.

Rapport technique canadien  
des sciences halieutiques et aquatiques 2127



1996

Hypothèses reliées aux  
effets environnementaux du projet Grande Baleine  
sur l'écosystème marin côtier du sud-est de la baie d'Hudson

M. Gilbert, D. Gauthier<sup>1</sup>, J.A. Gagné, Y. Gratton<sup>2</sup>, P. Larouche, B. Morin,  
R. Morin<sup>3</sup>, J.A. Percy<sup>4</sup>, T.G. Smith<sup>5</sup>, G.-H. Tremblay et G. Walsh

Ministère des Pêches et des Océans  
Institut Maurice-Lamontagne  
C.P. 1000, 850 route de la Mer  
Mont-Joli (Québec)  
G5H 3Z4

---

Adresses actuelles :

<sup>1</sup> 931 11<sup>ème</sup> avenue, Favreville, Laval (Québec), H7R 4M8, Courrier élect. : 10346.764@compuserve.com

<sup>2</sup> INRS-Océanologie, 310 des Ursulines, Rimouski (Québec), G5L 3A1

<sup>3</sup> Ministère des Pêches et des Océans, C.P. 5030, Moncton (Nouveau-Brunswick), E1C 9B6

<sup>4</sup> C.P. 42, Granville Ferry (Nouvelle-Écosse), B0S 1K0

<sup>5</sup> 5694 Chemin du Camp Confort, Garthby (Québec), G0Y 1B0

Ex. 2

© Ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux Canada 1996  
N° de cat. Fs 97-6/2127

ISSN 0706-6570

On devra citer la publication comme suit :

Gilbert, M., D. Gauthier, J.A. Gagné, Y. Gratton, P. Larouche, B. Morin, R. Morin, J.A. Percy, T.G. Smith, G.-H. Tremblay, et G. Walsh. 1996. Hypothèses reliées aux effets environnementaux du projet Grande Baleine sur l'écosystème marin côtier du sud-est de la baie d'Hudson. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2127: xii + 67 p.

## TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES . . . . .	iii
LISTE DES FIGURES . . . . .	v
LISTE DES ANNEXES . . . . .	vi
RÉSUMÉ . . . . .	vii
ABSTRACT . . . . .	vii
RÉSUMÉ ÉTENDU . . . . .	viii
EXTENDED SUMMARY . . . . .	x
PRÉFACE . . . . .	xii
1.0 INTRODUCTION . . . . .	1
1.1 Contexte . . . . .	1
1.2 Zone géographique . . . . .	1
1.3 Approche et objectif . . . . .	1
2.0 RECHERCHE EN MILIEU MARIN NORDIQUE . . . . .	3
2.1 Introduction . . . . .	3
2.2 Études à l'échelle globale . . . . .	3
2.3 Études à l'échelle locale . . . . .	4
3.0 HYPOTHÈSES RELIÉES AUX EFFETS ENVIRONNEMENTAUX . . . . .	6
3.1 Introduction . . . . .	6
3.2 Milieu physique . . . . .	6
3.2.1 Océanographie physique dans le sud-est de la baie d'Hudson . . . . .	6
3.2.2 Océanographie chimique dans le sud-est de la baie d'Hudson . . . . .	9
3.3 Milieu biologique . . . . .	12
3.3.1 Influence des débits d'eau douce sur la productivité des eaux côtières de la baie d'Hudson . . . . .	12
3.3.2 Incidences potentielles des aménagements hydroélectriques du complexe Grande Baleine sur la survie des stades larvaires de poissons dans le sud-est de la baie d'Hudson . . . . .	15
3.3.3 Saumon atlantique de la rivière Nastapoka . . . . .	18
3.3.4 Distribution et abondance du phoque annelé ( <i>Phoca hispida</i> ) sur la côte est de la baie d'Hudson . . . . .	20
3.3.5 Le phoque commun ( <i>Phoca vitulina</i> ) des lacs des Loups-Marins . . . . .	21

3.3.6 Incidences potentielles du projet Grande Baleine sur l'habitat du béluga ( <i>Delphinapterus leucas</i> ) dans le sud-est de la baie d'Hudson . . . . .	22
4.0 CONCLUSION . . . . .	24
5.0 REMERCIEMENTS . . . . .	24
6.0 BIBLIOGRAPHIE . . . . .	25

**LISTE DES FIGURES**

Figure 1. Carte des baies James et d'Hudson montrant les principales rivières du bassin hydrographique ..... 2

**LISTE DES ANNEXES**

Annexe I.	Équipe de travail et composition du Groupe de travail du secteur des Sciences sur le projet Grande Baleine . . . . .	43
Annexe II.	Description du milieu biophysique des baies James et d'Hudson . . . . .	44
Annexe III.	Les grands projets d'aménagements hydroélectriques dans les baies James et d'Hudson . . . . .	52
Annexe IV.	Liste des hypothèses . . . . .	66



**RÉSUMÉ**

Gilbert, M., D. Gauthier, J.A. Gagné, Y. Gratton, P. Larouche, B. Morin, R. Morin, J.A. Percy, T.G. Smith, G.-H. Tremblay et G. Walsh. 1996. Hypothèses reliées aux effets environnementaux du projet Grande Baleine sur l'écosystème marin côtier du sud-est de la baie d'Hudson. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2127: xii + 67 p.

La réalisation éventuelle du projet de développement hydroélectrique Grande Baleine pourrait avoir des incidences biophysiques significatives sur le milieu marin côtier du sud-est de la baie d'Hudson. Le présent document documente les résultats des discussions d'un groupe de travail formé de personnel scientifique du ministère des Pêches et des Océans – Région Laurentienne qui ont cerné, sous la forme d'hypothèses et de propositions de recherche, certains aspects environnementaux liés à la réalisation du projet Grande Baleine. Ces aspects concernent principalement l'océanographie physique, chimique et biologique du sud-est de la baie d'Hudson, ainsi que la biologie de certaines espèces importantes de poissons et de mammifères marins peuplant cette région. On y présente également une description sommaire des aménagements hydroélectriques actuels et projetés dans le bassin hydrographique des baies James et d'Hudson, ainsi qu'une synthèse des activités de recherche et des connaissances acquises à ce jour sur le milieu marin de cette région.

**ABSTRACT**

Gilbert, M., D. Gauthier, J.A. Gagné, Y. Gratton, P. Larouche, B. Morin, R. Morin, J.A. Percy, T.G. Smith, G.-H. Tremblay and G. Walsh. 1996. Hypothèses reliées aux effets environnementaux du projet Grande Baleine sur l'écosystème marin côtier du sud-est de la baie d'Hudson. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2127: xii + 67 p.

The possible realization of the Grande Baleine hydroelectric development project could have significant biophysical impacts on the coastal marine environment of southeastern Hudson Bay. This document presents the results of discussions held within a working group composed of scientific personnel of the Department of Fisheries and Oceans – Laurentian Region that defined, in the form of hypotheses and research proposals, the environmental aspects related to the realization of the Grande Baleine project. These aspects mainly concern the physical, chemical, and biological oceanography of southeastern Hudson Bay as well as the biology of some important species of fish and marine mammals inhabiting this region. A brief description of the actual and planned hydroelectric developments in the hydrographic basin of James and Hudson bays, as well as a synthesis of ongoing research activities and knowledge acquired to date on the marine environment of this region, are also presented.

## RÉSUMÉ ÉTENDU

En 1990 et 1991, un groupe de travail formé de personnel scientifique du ministère des Pêches et des Océans – Région Laurentienne s'est réuni à trois reprises dans le but de cerner, pour l'écosystème marin côtier du sud-est de la baie d'Hudson, certains aspects environnementaux liés à la réalisation éventuelle du projet de développement hydroélectrique Grande Baleine. Les discussions du groupe de travail, dont les résultats sont présentés ici sous forme d'hypothèses et de propositions de recherche, furent basées sur les activités de recherche et les connaissances acquises concernant le milieu marin des baies James et d'Hudson, de même que sur les aménagements hydroélectriques actuels et projetés dans le bassin hydrographique de cette région.

Outre les projets de développement hydroélectriques québécois, on retrouve deux grands projets dans les différents bassins hydrographiques qui se déversent dans les baies James et d'Hudson. Au Manitoba, le complexe Churchill-Nelson a impliqué le détournement partiel de la rivière Churchill vers le bassin de la rivière Nelson et a été complété en 1990 avec la mise en service de la centrale Limestone. En Ontario, le potentiel hydroélectrique du bassin hydrographique de la rivière Moose est exploité depuis le début du siècle et les aménagements en place n'ont pas nécessité de détournements majeurs. Ontario Hydro prévoit toutefois réaménager et ajouter quelques centrales à ce système.

Au Québec, trois méga-projets d'aménagements hydroélectriques ont été développés par Hydro-Québec pour les rivières nordiques se déversant dans les baies James et d'Hudson. Le complexe La Grande, situé sur la côte est de la baie James, est le plus important de ces projets avec une puissance totale prévue d'environ 10 400 MW. Trois centrales de ce complexe sont actuellement en opération et l'aménagement de six autres centrales est prévu par Hydro-Québec. Les aménagements hydroélectriques du complexe Grande Baleine seraient situés dans le sud-est de la baie d'Hudson et généreraient une puissance totale de 3 168 MW. La réalisation de ce projet, qui a été abandonnée momentanément par Hydro-Québec, impliquerait la réorientation de la plus grande partie des débits de la Grande rivière de la Baleine et de la Petite rivière de la Baleine vers une embouchure commune, située dans le détroit de Manitounuk, où les apports fluviaux d'eau douce sont actuellement négligeables. Enfin, le projet Nottaway-Broadback-Rupert (NBR), d'une puissance totale prévue de 8 400 MW, est toujours à l'étude par Hydro-Québec et sa réalisation nécessiterait le harnachement de deux de ces trois importantes rivières qui se déversent dans la baie de Rupert au sud-est de la baie James.

Les connaissances actuelles sur la physique, la chimie, la biologie et l'océanographie des baies James et d'Hudson sont limitées, plutôt descriptives et concernent surtout les régions influencées par l'activité humaine. De façon générale, les aspects les mieux connus sont la bathymétrie, la circulation, les conditions de glace, les patrons spatiaux de la température, de la salinité et des éléments nutritifs, les compositions spécifiques des algues des glaces, du phytoplancton, du zooplancton et de l'ichtyofaune de même que la distribution des mammifères marins. Les baies James et d'Hudson sont relativement peu profondes, couvertes de glace sur une base saisonnière, et présentent un patron de circulation de type cyclonique. Les différentes communautés biologiques présentes dans ces mers intérieures sont assez diversifiées, mais la majorité de la production semble être limitée aux régions côtières. Les mammifères marins les plus abon-

dants dans les baies James et d'Hudson sont le béluga (*Delphinapterus leucas*), le phoque annelé (*Phoca hispida*) et le phoque commun (*Phoca vitulina*).

La côte est de la baie James et le sud-est de la baie d'Hudson sont les secteurs les mieux connus des deux baies. Plusieurs travaux de recherche y ont été effectués sur les incidences environnementales des modifications des apports d'eau douce découlant des aménagements hydroélectriques actuels et éventuels dans ces régions. Sur la côte est de la baie James, les principales incidences biophysiques sur le milieu marin qui ont été étudiées sont la dynamique du panache de la Grande Rivière dans la baie James, l'intrusion saline dans la rivière Eastmain après son détournement, et les apports ponctuels d'eau douce reliés à l'activité des évacuateurs de crues dans la rivière Eastmain.

Dans le sud-est de la baie d'Hudson, la zone côtière comprise entre les embouchures de la Grande rivière de la Baleine et de la Petite rivière de la Baleine a fait l'objet d'études d'avant-projet par Hydro-Québec en 1980. Depuis, les travaux du Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec (GIROQ) et du ministère des Pêches et des Océans (MPO) ont mis en évidence certains processus physiques et biologiques importants qui sont reliés à la dynamique printanière du couvert de glace saisonnier et du panache de la Grande rivière de la Baleine. Ces processus incluent les variations saisonnières dans la dynamique du panache de la Grande rivière de la Baleine en relation avec les débits d'eau douce et les conditions de glace, le développement printanier des microalgues des glaces à l'interface glace-eau et leur sédimentation dans la colonne d'eau, les migrations verticales, le broutage et la reproduction des copépodes qui exploitent ces communautés, de même que l'importance de cette ressource alimentaire et de la lumière pour l'alimentation des larves de poissons marins qui apparaissent au printemps sous le couvert de glace.

Compte tenu des travaux de recherche effectués dans le sud-est de la baie d'Hudson et des connaissances acquises sur cette région, certains aspects environnementaux importants reliés au projet Grande Baleine sont ses effets potentiels sur :

- la dynamique du panache de la Grande rivière de la Baleine et du couvert de glace saisonnier ;
- les caractéristiques physico-chimiques de l'eau et des sédiments en milieu marin, incluant les apports de mercure et de matière organique ;
- le gradient de productivité côte-large dans la baie d'Hudson ;
- la survie des stades larvaires de poissons dans le sud-est de la baie d'Hudson ;
- le maintien de la population de saumon atlantique dans la rivière Nastapoka ;
- la distribution et l'abondance, de même que les habitats de reproduction, de mue et d'alimentation du béluga, du phoque annelé et du phoque barbu dans l'est de la baie d'Hudson ;  
et
- l'habitat et l'abondance de la population de phoques d'eau douce dans les lacs des Loups-Marins.

## EXTENDED SUMMARY

In 1990 and 1991, a working group composed of scientific personnel of the Department of Fisheries and Oceans – Laurentian Region met on three occasions in order to identify some environmental concerns for the coastal marine environment of southeastern Hudson Bay related to the possible realization of the Grande Baleine hydroelectric development project. Discussions within the working group, whose conclusions are presented here in the form of hypotheses and research proposals, were based on recent research activities and acquired knowledge concerning the marine environment of James and Hudson bays as well as on the actual and planned hydroelectric developments in the drainage basin of this region.

Besides the hydroelectric development projects in Québec, there are two major projects in the various drainage basins of James and Hudson bays. In Manitoba, the Churchill-Nelson complex involved the partial diversion of the Churchill River towards the Nelson River basin and was completed in 1990 with the installation of the Limestone power station. In Ontario, the hydroelectric potential of the Moose River basin has been exploited since the beginning of the century, but the installations in place have not necessitated any major diversions. However, Ontario Hydro is planning to refit and add several generating stations to this system.

In Québec, three major hydroelectric projects have been developed by Hydro-Québec for rivers flowing into James and Hudson bays. The La Grande complex, located on the east coast of James Bay, is the most important of these projects, with a total generating capacity of about 10,400 MW. Three power stations of this complex are presently in operation and the development of six other generating stations is planned by Hydro-Québec. The hydroelectric developments of the Grande Baleine complex would be located in the southeastern part of Hudson Bay and would generate 3,168 MW. The realization of this project, which has been abandoned for the time being by Hydro-Québec, would require the diversion of most of the outflow from both the Grande rivière de la Baleine and Petite rivière de la Baleine towards a common outlet located in the Manitounuk Sound, where the freshwater outflow is presently negligible. Finally, the Nottaway-Broadback-Rupert project, with a total generating capacity of 8,400 MW, is still under study by Hydro-Québec. Its realization would require the diversion of two of these three major rivers, which flow into Rupert's Bay in southeastern James Bay.

The present knowledge of the physical, chemical, and biological oceanography of James and Hudson bays is limited, somewhat descriptive, and mainly concerns regions that are influenced by human activity. In general, the better known aspects of these regions are the bathymetry, the circulation, the ice conditions, the spatial patterns of temperature, salinity, and nutrients, and the specific compositions of ice algae, phytoplankton, zooplankton, and ichthyofauna as well as the distribution of marine mammals. James and Hudson bays are relatively shallow, seasonally ice-covered, and characterized by a cyclonic circulation pattern. The various biological communities inhabiting these inland seas are fairly diversified, but most of the production appears to be limited to coastal areas. The most abundant species of marine mammals are the beluga (*Delphinapterus leucas*), the ringed seal (*Phoca hispida*), and the harbour seal (*Phoca vitulina*).

The east coast of James Bay and the southeastern part of Hudson Bay are the best known areas of the bays. Several research studies have been conducted on the environmental impacts of freshwater outflow modifications following actual and planned hydroelectric development projects in these regions. On the east coast of James Bay, the major impacts on the marine environment that have been studied are the dynamics of the Grande Rivière river plume in James Bay, the salinity intrusion into the Eastmain River following its diversion, and the freshwater pulses associated with controlled reservoir discharges in the Eastmain River.

In southeastern Hudson Bay, the coastal zone between the mouths of the Grande rivière de la Baleine and Petite rivière de la Baleine was subjected to pre-project studies by Hydro-Québec in 1980. Since then, research activities of the Groupe Interuniversitaire de Recherches Océanographiques du Québec (GIROQ) and the Department of Fisheries and Oceans (DFO) have revealed several important physical and biological processes associated with the dynamics of the seasonal ice cover and of the Grande rivière de la Baleine river plume. These processes include seasonal variations in the dynamics of the Grande rivière de la Baleine river plume in relation to river discharge and ice cover conditions, the spring development of sea-ice microalgae and their fate in the water column, and vertical migrations, grazing, and reproduction of copepods which exploit these communities as well as the importance of food resource abundance and light for the foraging success of marine fish larvae that emerge under the ice cover in spring.

Considering the research activities conducted in southeastern Hudson Bay and the acquired knowledge on this region, some important environmental aspects related to the Grande Baleine project are its potential impacts on:

- the dynamics of the Grande rivière de la Baleine river plume and of the seasonal ice cover;
- the physico-chemical characteristics of water and sediments in the marine environment, including the inputs of mercury and of organic matter;
- the coastal-offshore productivity gradient in Hudson Bay;
- the survival of fish larvae in southeastern Hudson Bay;
- the preservation of the Atlantic salmon population in the Nastapoka River;
- the distribution and abundance as well as the reproductive, molting, and feeding habitats of belugas, ringed seals, and bearded seals in eastern Hudson Bay; and
- the habitat and abundance of the harbour seal population in the Loups-Marins lakes.

## PRÉFACE

Le présent document fait suite aux activités d'un groupe de travail formé d'experts scientifiques du Ministère des Pêches et des Océans – Région Laurentienne, dont le mandat était de déterminer les enjeux environnementaux reliés à la réalisation éventuelle du projet de développement hydroélectrique Grande Baleine en ce qui a trait au milieu marin des baies James et d'Hudson.

Les hypothèses formulées par le groupe de travail et décrites dans les pages qui suivent ont également servi à préparer le mémoire présenté par le MPO à la Commission fédérale et aux comités d'évaluation et d'examen prévus aux chapitres 22 et 23 de la *Convention de la baie James et du Nord québécois* dans le cadre de l'élaboration des directives au promoteur visant l'étude d'impact du projet Grande Baleine. En conséquence, le présent document ne tient pas compte des informations contenues dans le rapport d'avant-projet déposé par Hydro-Québec en réponse à la Directive émise par la commission et les comités d'évaluation du projet Grande Baleine. Les informations tirées de la littérature scientifique dans ce rapport peuvent toutefois être considérées comme étant à jour au moment de sa publication.

Le présent document ne constitue pas une position ministérielle sur l'évaluation environnementale du projet Grande Baleine, mais plutôt le résultat des discussions basées sur les connaissances actuelles du milieu marin des baies James et d'Hudson. Par conséquent, la formulation d'hypothèses et les propositions de recherche qui en découlent visent uniquement à mieux définir les limites scientifiques des aspects environnementaux du projet Grande Baleine et ne signifient d'aucune façon qu'il soit nécessaire d'entreprendre quelque projet que ce soit pour répondre aux questions posées. Néanmoins, le ministère des Pêches et des Océans mène présentement un programme multidisciplinaire d'étude du milieu marin du bassin d'Hudson dont l'objectif principal est de vérifier certaines hypothèses formulées dans le présent rapport.

## 1.0 INTRODUCTION

### 1.1 Contexte

La société Hydro-Québec envisage d'aménager plusieurs projets de production hydroélectrique dont celui de la Grande rivière de la Baleine. Ce méga-projet, qui fait partie de la Phase II du développement de la baie James, aurait une capacité effective de 3 168 MW; il inonderait une superficie approximative de 1 500 km<sup>2</sup> et aurait pour effet de réduire le débit d'eau douce aux embouchures de trois rivières importantes du sud-est de la baie d'Hudson. Le projet comprend notamment :

- un complexe comprenant 4 réservoirs, 126 digues, 5 barrages, dont 3 centrales, et 27 000 000 m<sup>3</sup> de remblai; et
- des infrastructures d'accès incluant 575 km de routes, 20 ponts, 1 060 ponceaux, 17 campements, un aérodrome temporaire et un aérodrome permanent, ainsi que le réaménagement de l'aéroport de Kuujjuarapik.

Les éventuelles causes des effets environnementaux de ce projet incluent les infrastructures d'accès au complexe, les réservoirs, les réductions et les augmentations de débit des rivières et la modification du régime annuel des apports d'eau douce dans le sud-est de la baie d'Hudson. Les principaux aspects environnementaux du projet sont reliés aux répercussions sur les ressources terrestres, aquatiques et marines ainsi que sur leurs habitats, de même que sur l'utilisation du territoire et l'exploitation de ses ressources par les communautés autochtones Cries et Inuits.

### 1.2 Zone géographique

La zone géographique qui serait directement touchée par le projet Grande Baleine est située dans le sud-est de la baie d'Hudson (Figure 1). Cette zone comprend l'ensemble du territoire couvert par les bassins hydrographiques des trois rivières affectées par les aménagements de même que la région côtière de la baie d'Hudson influencée par les apports d'eau douce de ces bassins hydrographiques.

Cependant, les effets environnementaux du projet Grande Baleine, combinés à ceux des autres aménagements hydroélectriques actuels et projetés dans les baies James et d'Hudson, pourraient entraîner des modifications dans l'écosystème des deux baies. De plus, certains travaux suggèrent que les apports d'eau douce provenant de la baie d'Hudson via le détroit d'Hudson ont une influence significative sur la salinité et la productivité biologique du détroit d'Hudson et possiblement sur celles des eaux côtières du Labrador et de l'est de Terre-Neuve (Sutcliffe *et al.* 1983; Myers *et al.* 1990).

### 1.3 Approche et objectif

À la Direction régionale des sciences du ministère des Pêches et des Océans – Région Laurentienne (MPO), un groupe de travail scientifique (Annexe I) a été formé dans le but de cerner certaines questions reliées aux effets environnementaux du projet de développement hydroélec-

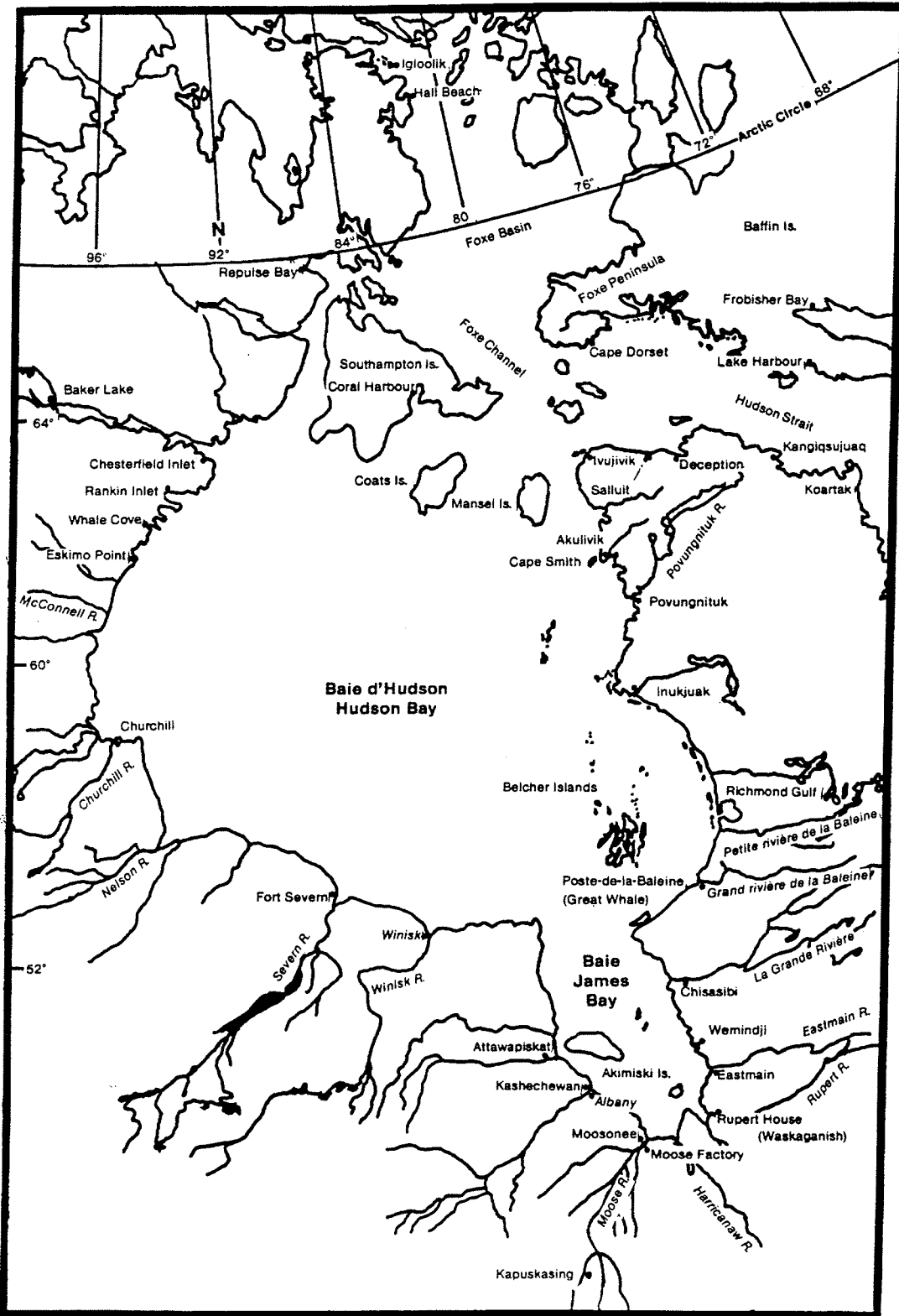


Figure 1. Carte des baies James et d'Hudson montrant les principales rivières du bassin hydrographique (Berkes et Freeman 1986).



trique Grande Baleine. Au cours des réunions qui se sont déroulées les 18 janvier, 24 janvier et 14 mars 1991, les discussions ont permis de déterminer la plupart des questions et hypothèses concernant les effets du projet Grande Baleine sur le milieu marin côtier du sud-est de la baie d'Hudson. Par la suite, de nombreuses consultations et révisions ont été effectuées en collaboration avec divers experts du Ministère.

Le principal objectif du présent document est de déterminer pour le milieu marin de la baie d'Hudson les aspects environnementaux importants qui sont reliés au projet Grande Baleine. Ces aspects, présentés sous forme d'hypothèses et de propositions de recherche, sont essentiellement basés sur les connaissances actuelles des baies James et d'Hudson de même que sur l'expérience acquise des autres développements hydroélectriques dans cette région.

Afin d'établir clairement le contexte des résultats du groupe de travail, ce document présente les différentes activités de recherche récentes dans les baies James et d'Hudson. Les aspects environnementaux du projet Grande Baleine sont ensuite présentés sous forme d'hypothèses assorties d'objectifs de recherche permettant de les tester. Toutefois, l'ensemble de la démarche ainsi que les hypothèses qui en découlent ne tiennent pas compte des études d'avant-projet effectuées par Hydro-Québec, lesquelles n'étaient pas encore disponibles au moment des rencontres du groupe de travail.

Les annexes présentent une synthèse des connaissances acquises à ce jour (Annexe II) ainsi qu'une description sommaire des aménagements hydroélectriques actuels et projetés dans le bassin hydrographique des baies James et d'Hudson (Annexe III).

## **2.0 RECHERCHE EN MILIEU MARIN NORDIQUE**

### **2.1 Introduction**

Jusqu'au début des années quatre-vingt, les travaux scientifiques effectués dans les baies James et d'Hudson étaient relativement peu nombreux et la majorité étaient de nature plutôt descriptive. Les développements hydroélectriques dans les rivières des baies James et d'Hudson ont cependant attiré l'intérêt de la communauté scientifique et un nombre accru de travaux concernant les processus physiques et biologiques de ces régions ont été publiés depuis quelques années, tant à l'échelle globale des deux baies qu'à l'échelle locale des zones côtières directement touchées par ces changements.

### **2.2 Études à l'échelle globale**

Les études à l'échelle globale traitent essentiellement des variations spatiales et temporelles des paramètres physiques et biologiques pour l'ensemble des baies James et/ou d'Hudson. En océanographie physique et chimique, les paramètres étudiés incluent la circulation et les courants (Murty 1972; Pett et Roff 1982; Prinsenber 1982a, 1986a; Wang *et al.* 1994a), la physico-chimie (Barber et Lardner 1968; Prinsenber 1986b; Roff et Legendre 1986), les conditions de glace (Barber et Lardner 1968; Danielson 1971; Markham 1986; Wang *et al.* 1994b,c), les ma-

rées (Godin 1972, 1974; Griffiths *et al.* 1981; Prinsenberg et Freeman 1986), la sédimentation (Kranck et Ruffman 1982), les régimes d'eau douce (Prinsenberg 1977, 1984, 1988) ainsi que les incidences physiques des aménagements hydroélectriques (El-Sabh et Koutitonsky 1977; Prinsenberg 1980, 1982b, 1983, 1991; Freeman *et al.* 1982, Saucier et Dionne 1996).

Dans le domaine biologique, les études globales existantes portent sur la diversité, la biomasse et la production phytoplanctonique (Bursa 1968; Anderson et Roff 1980a; 1980b; Anderson *et al.* 1981; Roff et Legendre 1986), les macrophytes (Bursa 1968; Breton-Provencher et Cardinal 1978), les communautés zooplanctoniques (Grainger 1961; Grainger et McSween 1976; Roff et Legendre 1986; Rochet et Grainger 1988), le zoobenthos (Hedgpeth 1963; Grainger 1966, 1968; Squires 1967; Powell 1968; Wacasey *et al.* 1976), les communautés de poissons marins (Vladykov 1933; McAllister 1964; Morin et Dodson 1986), anadromes (Morin *et al.* 1980; Kemp *et al.* 1989) et d'eau douce (Roy 1989).

Dans le cas des mammifères marins, les travaux existants concernent la distribution ainsi que la biologie du béluga (Doan et Douglas 1953; Sergeant 1973; Finley *et al.* 1982; Smith et Hammill 1986; Richard *et al.* 1990) et du phoque annelé (McLaren 1958, 1961; Smith 1973, 1975a, 1975b). Les autres espèces de pinnipèdes n'ont fait l'objet que de quelques études (Mansfield 1967; Breton-Provencher 1979a; Sergeant 1986).

### 2.3 Études à l'échelle locale

Les récents projets de développement hydroélectrique dans la baie James et le sud-est de la baie d'Hudson ont amené les scientifiques à examiner particulièrement les processus physiques et biologiques associés aux estuaires des rivières touchées par ces aménagements.

Dans le cas des aménagements de la Grande Rivière, des études ont été effectuées dans un premier temps à l'échelle de la baie James pour déterminer les incidences biophysiques des changements de débits d'eau douce (Foy et Hsiao 1976; Grainger et McSween 1976; El-Sabh et Koutitonsky 1977; Prinsenberg 1982b). Dans un deuxième temps, les estuaires des rivières Eastmain et La Grande ont été examinés avant la modification de leurs débits (Dadswell 1974; Morin *et al.* 1980, 1981, 1982; d'Anglejan 1982; Grenon 1982; Ingram 1982; Lambert et Dodson 1982; Ochman et Dodson 1982; Dodson *et al.* 1986) et après celle-ci (Roy 1982; Ingram *et al.* 1985; Lepage et Ingram 1986; Messier *et al.* 1986, 1989; Ingram et Larouche 1987b). Quelques études ont aussi porté sur les effets physiques de l'exploitation des évacuateurs de crues de la rivière Eastmain (Ingram *et al.* 1986; Lepage et Ingram 1988a).

La littérature scientifique concernant le sud-est de la baie d'Hudson, où se situe l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine, est beaucoup plus étoffée que pour la région des estuaires de la Grande Rivière et de la rivière Eastmain. Entre 1976 et 1990, le Groupe interuniversitaire de recherches océanographiques du Québec (GIROQ), en collaboration avec le MPO, ont poursuivi d'importants programmes de recherche multidisciplinaires dans cette région.

Les aspects physiques étudiés incluent la dynamique du panache de la Grande rivière de la Baleine (Ingram 1981, 1983; Freeman *et al.* 1982; Ingram et Larouche 1987a; Lepage et Ingram 1988b; Shirasawa et Ingram 1988a; Ingram *et al.* 1990), les fluctuations du niveau d'eau dans le

détroit de Manitounuk (Ouellet *et al.* 1982), les conditions de glace (Larouche et Galbraith 1989), la structure cristallographique de la glace (Aota *et al.* 1988; Legendre *et al.* 1991), la dynamique de la couche de surface (Lepage et Ingram 1991) et de l'interface glace-eau (Shirasawa et Ingram 1988b; Shirasawa *et al.* 1988), les ondes internes (Ingram *et al.* 1989) et côtières (Reynaud *et al.* 1992), la sédimentation (d'Anglejan et Biksham 1988), les régimes de vents (Larouche 1990), la circulation (Larouche et Dubois 1988, 1990; Larouche 1989), la simulation en modèles réduits des régions côtières (Denis et Desroches 1982) et les impacts potentiels du réchauffement global sur les processus physiques côtiers (Ingram *et al.* 1996).

La microflore des glaces et le phytoplancton ont également été des sujets d'intérêt majeur dans le sud-est de la baie d'Hudson. En plus de leur taxonomie (Poulin et Cardinal 1982a, 1982b, 1983), la diversité, la biomasse, la production et la physiologie des algues des glaces ont été étudiées en relation avec divers facteurs environnementaux. Ces facteurs incluent la salinité (Poulin *et al.* 1983; Gosselin *et al.* 1986; Legendre *et al.* 1992), les débits d'eau douce (Legendre *et al.* 1996; Monti *et al.* 1996), la température (Rochet *et al.* 1985; Legendre *et al.* 1989; Michel *et al.* 1989), la lumière (Gosselin *et al.* 1985, 1986, 1990; Legendre *et al.* 1986; Rochet *et al.* 1986; Barlow *et al.* 1988; Michel *et al.* 1988; Legendre *et al.* 1989), les éléments nutritifs (Maestrini *et al.* 1986; Demers *et al.* 1989; Gosselin *et al.* 1990), les marées (Gosselin *et al.* 1985; Demers *et al.* 1989) et les ondes internes (Ingram *et al.* 1989). On a également examiné les communautés d'algues des glaces de petite taille (Legendre *et al.* 1987; Robineau *et al.* 1994) ainsi que les communautés phytoplanctoniques sous un couvert de glace (Legendre *et al.* 1981) et en période estivale (Legendre et Simard 1979; Legendre *et al.* 1982).

Dans la colonne d'eau, la sédimentation des algues (Tremblay *et al.* 1989, Michel *et al.* 1993), le broutage, les migrations verticales et la reproduction du zooplancton (Runge et Ingram 1988, 1991; Tremblay *et al.* 1989; Runge *et al.* 1991; Tourangeau et Runge 1991) ont été étudiés en relation avec la production algale à l'interface glace-eau. Des travaux existent également sur la structure des communautés zooplanctoniques en été (Rochet et Grainger 1988) et sur l'influence du panache de la Grande rivière de la Baleine sur la méiofaune des glaces (Grainger 1988).

Concernant les communautés de poissons, quelques études sommaires existent pour les poissons marins (Talbot 1977; Power et Auger 1978) mais ce sont surtout les poissons anadromes qui ont été étudiés dans cette région (Morin *et al.* 1980; Kemp *et al.* 1989). De plus, la dynamique des stades larvaires de poissons a été étudiée surtout au printemps (Drolet 1990; Drolet *et al.* 1991; Gilbert 1991; Runge *et al.* 1991; Gilbert *et al.* 1992; Ponton et Fortier 1992; Ponton *et al.* 1993; Fortier *et al.* 1995, 1996).

La distribution des mammifères marins dans le sud-est de la baie d'Hudson a fait l'objet de seulement deux études (Breton-Provencher 1979a, 1979b) mais, plus récemment, plusieurs travaux sur la population de l'est de la baie d'Hudson, dont font partie les individus observés dans la région de Kuujuarapik/Whapmagoostui ont été effectués (Smith et Hammill 1986; Reeves et Mitchell 1987; Caron et Smith 1990; Doidge 1990a, 1990b).

### 3.0 HYPOTHÈSES RELIÉES AUX EFFETS ENVIRONNEMENTAUX

#### 3.1 Introduction

En tenant compte des travaux de recherche effectués à ce jour dans les baies James et d'Hudson, les membres du groupe de travail scientifique ont défini les principaux aspects reliés aux effets potentiels du projet Grande Baleine sur l'écosystème marin côtier du sud-est de la baie d'Hudson. Chacune des sous-sections suivantes est structurée de manière à faire ressortir, dans un ordre logique, l'état des connaissances actuelles, leur degré de certitude, les questions qui subsistent, ainsi que les hypothèses (voir l'Annexe IV) et objectifs de recherche qui permettraient de faire avancer les connaissances. Dans certains cas cependant, des programmes de suivi ou des études biologiques de base sont présentés à la place des hypothèses.

Il convient de rappeler que ces hypothèses et objectifs ont été définis avant le dépôt du rapport d'avant-projet de Hydro-Québec concernant le projet Grande Baleine qui a été effectué en août 1993. Par conséquent, certains des aspects discutés ci-après ont possiblement déjà été examinés par Hydro-Québec.

Enfin, tel que mentionné précédemment, le MPO a entrepris en 1993 un programme multidisciplinaire de recherche sur le milieu marin du bassin d'Hudson dans le but de tester certaines des hypothèses formulées dans les paragraphes qui suivent.

#### 3.2 Milieu physique

##### 3.2.1 *Océanographie physique dans le sud-est de la baie d'Hudson*

Les travaux de Prinsenberg (1986a, 1986b) décrivent sommairement la circulation ainsi que les patrons de température et de salinité de la baie d'Hudson. De façon générale, la circulation de la baie d'Hudson est cyclonique, c'est-à-dire anti-horaire, en raison de l'entrée d'eau douce le long des côtes qui génère un courant baroclinique côtier.

Cependant, les travaux effectués à ce jour dans la baie d'Hudson n'ont pas permis de déterminer la variabilité à moyenne échelle (100 km) de ce patron de circulation. Or, l'on sait que la bathymétrie, les vents, les systèmes atmosphériques et les apports locaux d'eau douce peuvent générer, à cette échelle, des phénomènes physiques tels que des remontées d'eau intermédiaire, des ondes côtières et des tourbillons qui ont tous une influence sur la productivité biologique de ces eaux.

Dans la région du sud-est de la baie d'Hudson, les phénomènes dynamiques qui se produisent entre les îles Belcher et la côte du Québec sont un peu mieux connus, suite aux multiples travaux hivernaux et aux quelques travaux estivaux réalisés au cours des années quatre-vingt. Larouche et Galbraith (1989) ont montré que la formation d'une banquise côtière stable dans cette région résulte de l'action des vents qui consolident les glaces dérivantes durant les premiers mois de l'hiver. Il s'agit donc d'une période critique pour l'établissement du panache de glace d'eau douce à l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine.

On a aussi montré que la circulation des eaux dans le détroit de Manitounuk est caractérisée par une entrée d'eau douce à la surface et une sortie d'eau salée en profondeur (Ingram et Larouche 1987a). Ce patron de circulation plutôt inhabituel résulte de forces globales qui régissent l'ensemble du mouvement cyclonique des eaux de la baie d'Hudson. Ces facteurs incluent notamment les vents dominants du sud-ouest qui forcent les eaux douces de la Grande rivière de la Baleine à s'écouler le long de la côte, vers le détroit. En outre, il y a dans le détroit de Manitounuk une zone importante de mélange où des ondes internes sont créées près des îles Peintes. Ces ondes internes, plus intenses en période de vive-eau, stimulent la croissance des micro-algues des glaces en causant un réapprovisionnement de la couche limite en éléments nutritifs (Ingram *et al.* 1989).

D'autres travaux ont aussi montré que le panache d'eau douce est beaucoup plus étendu sous le couvert de glace en hiver qu'en été et qu'il existe une relation significative entre le débit de la rivière et l'étendue du panache (Ingram et Larouche 1987a; Ingram *et al.* 1990). Les mesures de courant dans cette région ont montré que la circulation sous le couvert de glace est influencée par les gradients de pression atmosphérique (Ingram et Larouche 1987a) et qu'elle présente de fortes variations spatio-temporelles. La présence d'ondes côtières a été observée par Reynaud *et al.* (1992) et les changements dynamiques qui se produisent dans la colonne d'eau lors de la débâcle sont également connus (Lepage et Ingram 1991).

En résumé, les travaux réalisés jusqu'à maintenant décrivent assez bien les principaux phénomènes hydrodynamiques de cette région. Toutefois, les connaissances sont faibles en ce qui concerne la variabilité de ce système ainsi que les relations qui existent entre les processus locaux et globaux.

D'autre part, on ne possède aucune série temporelle de données océanographiques *in situ* qui soit suffisamment longue pour permettre de distinguer les changements causés par les ouvrages hydroélectriques déjà complétés des variations interannuelles naturelles de ce système. Les seules informations existantes et qui pourraient aider à évaluer la variabilité spatio-temporelle de cette région sont les données de température de surface mesurées par les satellites de la «National Oceanic and Atmospheric Administration» (NOAA) des États-Unis. Ces données, recueillies depuis 1978, constituent une vaste banque d'informations encore peu exploitée.

Dans sa forme actuelle, le projet prévoit des détournements affectant le débit aux embouchures des rivières Nastapoka ( $\sim 40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), Petite rivière de la Baleine ( $\sim 150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) et Grande rivière de la Baleine ( $\sim 550 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) vers une embouchure commune située dans le détroit de Manitounuk, à environ 40 km au nord de l'embouchure actuelle de la Grande rivière de la Baleine. Contrairement aux projets précédents qui n'ont altéré que des rivières existantes, une des caractéristiques principales du plan d'aménagement de Grande Baleine consiste à changer le point d'entrée de l'eau douce dans le milieu naturel en créant un affluent localisé près du centre du détroit de Manitounuk.

Cet aménagement entraînerait des modifications spatio-temporelles importantes des apports d'eau douce et de la circulation à l'intérieur du détroit de Manitounuk, ayant vraisemblablement pour effet d'inverser le patron de circulation existant et donnant au détroit les caractéristiques

hydrodynamiques d'un estuaire classique. Le cas échéant, cela aurait certainement des répercussions significatives sur le milieu biologique de ce secteur du détroit.

Outre l'inversion du patron de circulation dans le détroit de Manitounuk, la mise en oeuvre du projet aurait également des incidences significatives sur le régime hydrologique des trois rivières affectées et, possiblement, des effets cumulatifs aux autres projets hydroélectriques sur la circulation et sur le mélange global dans la baie d'Hudson. Le régime hydrologique naturel des trois rivières affectées serait modifié par la réduction de leur débit au printemps alors qu'on observerait un écoulement important des eaux dans le détroit de Manitounuk durant la période hivernale, soit de décembre à mars. Cette modification du cycle hydrologique aurait des répercussions sur la circulation locale, sur la formation du panache de glace d'eau douce, sur le régime local des glaces et sur le mélange des eaux. Ainsi, les questions suivantes se posent : la productivité biologique locale, près de l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine, serait-elle affectée si l'étendue de la glace d'eau douce était augmentée ? Les bélugas et les saumons continueraient-ils de fréquenter les estuaires de la Petite rivière de la Baleine et de la rivière Nastapoka si les débits de ces rivières étaient réduits ? La modification du régime des glaces aurait-elle un impact sur la distribution des phoques et sur l'utilisation humaine du détroit de Manitounuk comme voie hivernale de transport ? Quelle serait l'importance relative de la productivité biologique locale par rapport à la productivité globale et quelles seraient leurs relations avec la dynamique des masses d'eau ?

Actuellement, les connaissances sur l'océanographie physique de la baie d'Hudson ne permettent pas de répondre avec certitude à ces questions. Bien que l'acquisition de ces nouvelles connaissances ne puisse répondre à toutes les questions soulevées, la réalisation des travaux conformément aux hypothèses et aux objectifs suivants permettrait d'éclaircir plusieurs aspects importants reliés aux effets environnementaux du projet Grande Baleine.

**Hypothèse 1 : Il existerait un gradient décroissant de productivité allant de la côte vers le large, qui serait relié à des phénomènes dynamiques de circulation et qui pourrait être affecté significativement par une modification du régime local de débit d'eau douce.**

Objectif : Vérifier les relations qui existent entre la productivité primaire et la signature en surface des phénomènes dynamiques de circulation en : 1) décrivant le gradient côte-large de biomasse dans le sud-est de la baie d'Hudson (Hypothèse 8); 2) délimitant la zone d'influence des îles Belcher sur la productivité (Hypothèse 9); et 3) en détectant et en caractérisant les phénomènes de mélange vertical (Hypothèse 10).

**Hypothèse 2 : La glace d'eau douce affecterait la productivité biologique dans la région du panache de la Grande rivière de la Baleine et une augmentation de l'étendue de cette glace pourrait modifier la productivité biologique dans une zone encore plus vaste.**

Objectif : Déterminer l'étendue de l'habitat dont la productivité primaire, la survie larvaire et le recrutement aux populations de poissons seraient modifiés en modélisant la formation du panache de glace d'eau douce selon les paramètres pré-aménagement et post-aménagement.

**Hypothèse 3 : Il existerait une variabilité spatio-temporelle des phénomènes hydrodynamiques à moyenne échelle dans la baie d'Hudson qui pourrait affecter la productivité locale.**

Objectif : À partir des banques d'images satellitaires, évaluer la variabilité spatio-temporelle des phénomènes hydrodynamiques à moyenne échelle dans la baie d'Hudson en détectant les processus hydrodynamiques existants et en essayant de relier la variabilité aux paramètres environnementaux atmosphériques ou océaniques.

**Hypothèse 4 : Les phoques annelés utilisent les crêtes de pression comme habitat de reproduction et une modification du régime et des caractéristiques des glaces pourrait affecter l'abondance de cette espèce dans la zone côtière.**

Objectif : Évaluer les effets locaux des aménagements sur les caractéristiques des glaces et sur leur utilisation par les phoques en déterminant la répartition statistique des crêtes de pression dans la zone côtière et en vérifiant s'il y a une corrélation avec les estimations d'abondance des populations de phoque annelés.

**Hypothèse 5 : L'apport de matériel organique allochtone serait important pour la productivité biologique de l'estuaire de la Grande rivière de la Baleine.**

Objectif : Évaluer les effets d'une modification des apports fluviaux de matière organique sur la capacité de production des habitats de l'estuaire de la Grande rivière de la Baleine en : 1) mesurant l'étendue du panache turbide, c'est-à-dire riche en matière organique, de la Grande rivière de la Baleine tout au long de la période estivale; 2) délimitant l'habitat des communautés biologiques qui assimilent cette matière organique; 3) quantifiant l'assimilation de cette matière par les différents niveaux de la chaîne trophique; et en 4) modélisant le panache turbide de la Grande rivière de la Baleine en fonction des paramètres post-aménagements.

### ***3.2.2 Océanographie chimique dans le sud-est de la baie d'Hudson***

Très peu d'études portant sur l'océanographie chimique ont été réalisées dans la baie d'Hudson. Les seules données disponibles concernent la chimie des éléments nutritifs dans la région de Chesterfield Inlet (Pett 1980; Roff *et al.* 1980), du sud-est de la baie (Legendre et Simard 1979, Gosselin *et al.* 1990) et, par suite de calculs, dans l'ensemble de la baie (Pett et Roff 1982). Quelques données sur l'oxygène dissous sont également disponibles (Pett et Roff 1982). Par conséquent, l'état de référence du milieu quant à certains paramètres de base en océanographie chimique et à la concentration de certains contaminants ne peut actuellement être établi ni dans

les secteurs qui seraient touchés par l'aménagement du complexe Grande Baleine ni, à des fins de comparaison, dans les secteurs adjacents qui ne seraient pas affectés.

Les bassins hydrographiques des baies James et d'Hudson ont subi des hausses significatives de leurs niveaux de contamination au cours des dernières décennies. Les métaux lourds, les BPC et les résidus de pesticides sont exportés vers les régions arctiques et subarctiques par transport atmosphérique et sont incorporés dans les tissus des espèces aquatiques nordiques (Lockhart 1992). Le méthyle mercure, remis en circulation par la décomposition de la matière organique suite à la mise en eau des réservoirs hydroélectriques, s'incorpore dans les chaînes alimentaires (Ramsey 1990; Verdun 1990) et sa bio-accumulation dans les tissus des poissons est problématique pour certaines pêcheries autochtones traditionnelles. On peut présumer que ces contaminants sont également apportés dans le milieu marin côtier des baies James et d'Hudson (Penn 1992). En particulier, Il est possible qu'une partie du mercure présent dans les réservoirs hydroélectrique soit adsorbé par la matière organique particulaire, puis exporté vers le milieu marin où il sédimenterait dans les régions côtières influencées par les panaches des rivières, où les eaux douces et marines se mélangent. Cependant, la distribution de ces sédiments d'origine riveraine dans la région marine côtière adjacente aux estuaires reste à déterminer.

L'évaluation des niveaux actuels et des tendances futures de la concentration et de la bio-accumulation du mercure et des autres contaminants dans l'écosystème marin côtier des baies James et d'Hudson pourrait toutefois bénéficier de l'établissement d'un programme de suivi environnemental qui serait initié avant la mise en place des aménagements hydroélectriques prévus. Deux approches complémentaires, soit le biomonitorage ainsi que l'analyse chimique de l'eau et des sédiments, sont discutées ici dans une perspective d'établissement d'un programme de caractérisation du milieu et de suivi de la contamination chimique pouvant être causée par l'aménagement du complexe Grande Baleine.

Plutôt que de réaliser un programme de biomonitorage élaboré qui nécessiterait l'échantillonnage d'espèces mobiles provenant de plusieurs niveaux de la chaîne trophique, un programme plus simple de suivi de la contamination chez des espèces non mobiles pourrait permettre de déterminer la distribution générale et les niveaux actuels des contaminants dans le milieu marin, et de suivre l'évolution spatio-temporelles de leurs concentrations. Goldberg (1975) fut le premier à proposer l'utilisation d'un tel programme de suivi environnemental dans les régions tempérées, avec comme principal bio-indicateur la moule bleue (*Mytilus edulis*) dont la distribution s'étend sur l'ensemble de l'hémisphère nord. Au cours des années subséquentes, des programmes de biomonitorage environnemental de ce type ont été réalisés dans plusieurs régions du monde et une importante quantité de données ont été accumulées depuis (Lauenstein 1988). De plus, des techniques normalisées d'échantillonnage et d'analyse ont été développées et plusieurs des problèmes ont été étudiés. Enfin, les données recueillies dans des nouveaux sites peuvent être comparées avec les informations existantes qui proviennent d'autres sites.

Il semble donc qu'un programme de biomonitorage de la contamination de la moule bleue puisse être utilisé pour déterminer la distribution actuelle et les tendances futures des concentrations de contaminants dans le milieu marin côtier des baies James et d'Hudson. En effet, la moule bleue est largement répandue dans les eaux côtières des baies James et d'Hudson (Lubinsky 1958; Atkinson et Wacasey 1989). Un tel suivi pourrait aussi inclure des espèces de poissons non mi-



gratrices ou anadromes et de mammifères marins afin de déterminer les transferts éventuels possibles de contaminants dans les chaînes trophiques estuariennes et côtières, de même que dans les communautés locales qui exploitent ces ressources.

Dans le but d'évaluer la faisabilité d'un programme de suivi à grande échelle, un projet pilote pourrait d'abord être entrepris. Cette étude préliminaire porterait sur la bio-accumulation du mercure dans les tissus de la moule bleue, qui est un organisme filtreur, et de *Macoma balthica*, un organisme sédentaire et suspensivore, dans plusieurs sites estuariens et marins de la côte est des baies James et d'Hudson. Ces sites incluraient les régions côtières à proximité des complexes La Grande et Grande Baleine, de même que certaines régions plus éloignées des développements prévus.

En ce qui concerne l'approche qui consiste à effectuer une analyse chimique de l'eau, les variables qui pourraient être mesurées sont la température, la salinité, le pH, l'oxygène dissous, le matériel particulaire en suspension et son niveau de contamination, l'alcalinité, les phosphates, les nitrates, les silicates et l'ammonium. Dans l'eau interstitielle des sédiments, les variables à mesurer seraient la porosité, les phosphates, les nitrates, les silicates et l'ammonium, de même que la concentration de divers contaminants. Dans la phase solide des sédiments, certains contaminants organiques et inorganiques pourraient être analysés.

Pour chacune de ces approches, le territoire étudié pourrait comprendre l'estuaire de la Grande rivière de la Baleine, l'estuaire de la Petite rivière de la Baleine, l'estuaire de la rivière Nastapoka, le détroit de Manitounuk, les secteurs touchés du littoral hudsonien, ainsi que d'autres secteurs de la baie et du détroit d'Hudson qui ne seraient probablement pas affectés.

**Hypothèse 6 : La moule bleue (*Mytilus edulis*) ainsi que certaines espèces de bivalves sédentaires et suspensivores seraient de bons bio-indicateurs de l'évolution spatio-temporelle de la contamination causée par les aménagements hydroélectriques des baies James et d'Hudson.**

Objectifs : Évaluer l'applicabilité du biomonitorage des moules dans le cadre d'un programme continu de suivi environnemental des contaminants dans les baies James et d'Hudson en déterminant la concentration de mercure dans les tissus de la moule bleue et d'autres invertébrés provenant des estuaires et des zones côtières adjacentes, et ce, à différentes distances des embouchures de rivières influencées par des aménagements hydroélectriques.

**Hypothèse 7 : L'eau et les sédiments du milieu marin de la région côtière du sud-est de la baie d'Hudson pourraient subir des modifications chimiques importantes suite à la réalisation du projet Grande Baleine.**

Objectifs : Localiser les zones de déposition des sédiments dans la région côtière du sud-est de la baie d'Hudson et déterminer l'état de référence du milieu avant la réalisation du projet.

### 3.3 Milieu biologique

#### 3.3.1 Influence des débits d'eau douce sur la productivité des eaux côtières de la baie d'Hudson

Pendant longtemps, la baie d'Hudson a été considérée comme étant une mer non productive, appauvrie, et presque un désert biologique (Huntsman 1931, 1954). Cette première évaluation, fondée essentiellement sur l'absence d'espèces marines de valeur commerciale, était sans doute exagérée mais elle a permis d'amorcer un débat continu sur la productivité globale de la baie et sur les facteurs environnementaux qui la contrôlent (Dunbar 1958, 1966, 1970, 1982; Legendre et Simard 1979; Anderson et Roff 1980a; Roff et Legendre 1986).

Il est reconnu depuis longtemps que l'océanographie et l'écologie des baies James et d'Hudson sont contrôlées par les apports d'eau douce (Hachey 1931; Huntsman 1931). En effet, une importante quantité d'eau douce est déversée dans les baies, d'une part, par les nombreuses rivières périphériques et libérée, d'autre part, lors de la fonte saisonnière des glaces. Ces apports d'eau douce génèrent des gradients marqués de température et de salinité qui donnent des caractéristiques estuariennes à l'ensemble des baies James et d'Hudson (Prinsenbergh 1982a, 1986b). En période d'eau libre, une pycnocline très marquée se forme de façon caractéristique à 20-30 m de profondeur, ce qui réduit le mélange vertical et limite le transport des éléments nutritifs vers la zone euphotique (Roff et Legendre 1986). De plus, les concentrations de ces éléments nutritifs sont faibles dans les eaux profondes des baies James et d'Hudson (Legendre et Simard 1979; Pett et Roff 1982).

Un nombre grandissant de travaux indiquent que la productivité annuelle moyenne dans les baies James et d'Hudson est plus faible que dans les mers subarctiques et tempérées (Anderson et Roff 1980a). Cette productivité serait plutôt comparable à celle des zones de l'océan Arctique qui sont libres de glaces en été (Roff et Legendre 1986). Cependant, certains secteurs particuliers de la baie d'Hudson, tels les zones côtières, sont nettement plus productifs (Grainger 1968, Anderson et Roff 1980a, Rogers 1981, Roff et Legendre 1986) comparativement aux régions centrales des deux baies (Anderson et Roff 1980a, Roff et Legendre 1986). Au large, la production primaire près de la surface est très faible et les niveaux de chlorophylle sont semblables à ceux des mers tropicales non productives (Anderson et Roff 1980a). Dans les régions côtières, la biomasse phytoplanctonique est plus élevée et les valeurs de chlorophylle se comparent à celles qui ont été mesurées dans l'Atlantique Nord-Ouest (Anderson et Roff 1980a).

L'abondance des producteurs secondaires à des niveaux plus élevés de la chaîne trophique semble refléter un gradient côte-large similaire. En effet, la distribution du zooplancton semble correspondre à celle du phytoplancton, lequel est plus abondant dans les régions côtières par rapport au large (Roff et Legendre 1986). Il est généralement admis que la faible productivité au large et la forte influence des eaux arctiques sont responsables de la pauvreté de la faune ichthyenne marine; les espèces, leur abondance et leur productivité ne permettent pas une exploitation commerciale de grande envergure (Hunter 1968; Dunbar 1970; Morin et Dodson 1986). Par contre, les poissons anadromes, notamment l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*), et les corégonidés (*Coregonus* spp.) font l'objet de pêcheries restreintes mais localement importantes

(Hunter 1968; Morin et Dodson 1986). Les zones estuariennes productives semblent constituer d'importants habitats d'alimentation pour ces espèces lorsqu'elles quittent les rivières au printemps (Hunter 1968). En outre, plus de la moitié des espèces de poissons d'eau douce peuvent s'adapter physiologiquement aux eaux saumâtres et effectuer des incursions dans les eaux côtières pour se nourrir, une caractéristique apparemment unique aux baies James et d'Hudson (Morin et Dodson 1986). Enfin, des quantités importantes de larves de corégonidés sont transportées lors de la crue printanière des rivières vers les régions côtières où les conditions de nutrition sont plus favorables à leur survie (Morin et Dodson 1986).

La présence de populations d'oiseaux et de mammifères marins dans les baies James et d'Hudson semble aussi refléter un gradient de productivité côte-large. Les espèces d'oiseaux marins qui se nourrissent habituellement au large sont rares dans les parties sud et centrale de la baie. Par contre, les régions côtières, particulièrement dans le sud et l'ouest de la baie, supportent durant l'été d'importantes populations de canards de mer, de huards, de bernaches et d'oiseaux de rivage (Morrison et Gaston 1986). Plusieurs de ces espèces tirent une grande partie de leur nourriture du milieu marin, voire la totalité. Quant aux mammifères marins, on a estimé à un demi-million le nombre des phoques annelés (*Phoca hispida*) qui sont présents durant toute l'année dans les baies James et d'Hudson (Smith 1975a). Les plus fortes concentrations d'individus ont été observées à moins de 16 km de la côte, tandis que les densités au large sont beaucoup plus faibles (Smith 1975a). Environ 25 000 bélugas (*Delphinapterus leucas*) sont présents dans la baie d'Hudson pendant la saison d'eau libre (M. Breton, MPO - Région Laurentienne, comm. pers.) et les individus ont tendance à se réunir près de la côte, particulièrement dans la partie Ouest où la population a été estimée à environ 23 000 individus.

Il semble donc que les régions côtières de la baie d'Hudson soient significativement plus productives que la région centrale. La faible productivité au large est généralement attribuée à la stratification verticale prononcée et à la stabilisation de la colonne d'eau résultant d'une baisse des salinités de surface provoquée par l'écoulement des rivières et la fonte des glaces. Quant aux facteurs qui sont responsables de la productivité côtière élevée dans les baies James et d'Hudson, ceux-ci sont l'objet d'un certain débat. La biomasse phytoplanctonique dans les eaux côtières semble varier en fonction des apports locaux d'eau douce. Anderson et Roff (1980a) ont observé les plus fortes biomasses dans les régions côtières du sud-est de la baie d'Hudson, lesquelles reçoivent environ 45% des débits d'eau douce de la baie. Dans la partie sud-ouest, où l'apport d'eau douce équivaut à 33% de l'écoulement total, de fortes biomasses phytoplanctoniques ont également été observées près de la côte. La région côtière du nord-ouest de la baie d'Hudson, qui reçoit seulement 7% des apports d'eau douce, présente les plus faibles biomasses phytoplanctoniques observées dans la zone côtière. Cette productivité côtière ne serait pas causée par un apport d'éléments nutritifs provenant de l'écoulement étant donné les faibles concentrations observées en eau douce; elle résulterait plutôt d'un enrichissement des eaux de surface par les remontées d'eaux profondes qui sont plus riches en éléments nutritifs.

Un autre point d'intérêt qui ressort des travaux de Anderson et Roff (1980a) est la présence d'une zone de production apparemment élevée à l'ouest des îles Belcher et Sleeper. Exception faite du nord-est de la baie d'Hudson, près de l'entrée du détroit d'Hudson, les concentrations de chlorophylle étaient beaucoup plus élevées à l'ouest des îles Belcher et Sleeper que partout ailleurs dans la baie d'Hudson. Il est possible que ce phénomène soit attribuable à l'effet de

masse insulaire «island mass effect» décrit par Doty et Oguri (1956). Cependant, l'étude de Anderson et Roff (1980a) ne couvre pas les régions côtières situées au sud-est des îles Belcher.

Des travaux additionnels permettraient de mieux caractériser le gradient de productivité côte-large, de déterminer les phénomènes océanographiques qui en sont responsables et d'évaluer l'influence des apports d'eau douce sur les processus de mélange et sur la productivité côtière. Ces travaux pourraient comprendre l'échantillonnage intensif d'une grille de stations couvrant les régions côtières et hauturières du sud-est de la baie d'Hudson. Cet échantillonnage devrait alors porter sur les conditions physiques et chimiques de même que sur le phytoplancton, le zooplancton et le zoobenthos afin d'en déterminer les abondances et les biomasses. La grille de stations d'échantillonnage devrait englober quatre zones spécifiques qui seraient comparées entre elles, soit : 1) le détroit de Manitousuk; 2) le milieu côtier au sud-est des îles Belcher; 3) le milieu côtier, jusqu'à 150 km au nord-ouest des îles Belcher; et 4) le milieu hauturier, au delà de 200 km au nord-ouest des îles Belcher.

**Hypothèse 8 : La biomasse pélagique et benthique serait significativement plus élevée dans les régions côtières que dans les régions hauturières de la baie d'Hudson.**

Objectifs : En tenant compte de la relation entre la production primaire et la signature en surface des phénomènes de circulation (Hypothèse 1), évaluer et comparer la diversité de même que la biomasse du phytoplancton, du zooplancton et du benthos dans les régions côtières et hauturières du sud-est de la baie d'Hudson.

**Hypothèse 9 : La biomasse pélagique et benthique dans la région des îles Belcher serait plus élevée que dans les régions hauturières de la baie d'Hudson, étant donné l'effet de masse insulaire.**

Objectifs : Caractériser l'effet de masse insulaire dans la région des îles Belcher et évaluer son impact sur la biomasse du phytoplancton, du zooplancton et du benthos.

**Hypothèse 10 : Les débits d'eau douce favoriseraient le mélange vertical dans les régions côtières de la baie d'Hudson et l'inhiberaient dans les régions hauturières, sauf dans la région des îles Belcher où le mélange vertical serait plus important; ces phénomènes auraient un effet significatif sur les productions primaire et secondaire.**

Objectifs : Déterminer les conditions océanographiques et la distribution des nutriments dans les régions ci-haut mentionnées, en rapport avec la production biologique; évaluer l'influence des débits d'eau douce sur l'océanographie et sur la productivité biologique.

### 3.3.2 Incidences potentielles des aménagements hydroélectriques du complexe Grande Baleine sur la survie des stades larvaires de poissons dans le sud-est de la baie d'Hudson

La survie des larves au cours des premiers stades suivant l'éclosion joue un rôle important dans le succès du recrutement chez les populations de poissons (Leiby 1984). Plusieurs facteurs peuvent affecter la survie des larves, les plus importants étant la famine (Hjort 1914; Cushing 1972; Leggett 1986), la prédation et les mécanismes hydrodynamiques qui influencent le transport, la dispersion ou la rétention des larves de poissons (Hjort 1926; Harden-Jones 1968; Iles et Sinclair 1982; Norcross et Shaw 1984). En effet, celles-ci doivent franchir, après la résorption du sac vitellin, une période critique de nutrition durant laquelle leur ressource alimentaire doit être suffisamment abondante pour leur croissance et leur survie. Les processus hydrodynamiques ont une influence importante sur les conditions de nutrition des larves en dispersant les cohortes dans des zones où les ressources alimentaires sont plus ou moins abondantes.

Dans les régions polaires, les zones de forte production biologique sont généralement reliées aux zones de développement des microalgues des glaces à l'interface glace-eau des banquises saisonnières ou permanentes (Bradstreet et Cross 1982; Carey 1985). Dans le sud-est de la baie d'Hudson, la distribution spatiale à grande échelle des communautés d'algues des glaces dépend essentiellement de la salinité des eaux de surface (Poulin *et al.* 1983; Gosselin *et al.* 1986; Legendre *et al.* 1992) et leur période de développement printanier s'étend généralement de la mi-avril à la mi-mai (Tremblay *et al.* 1989; Drolet *et al.* 1991). Durant cette période, les microalgues présentes à l'interface glace-eau et dans la colonne d'eau sont activement exploitées par plusieurs espèces de copépodes tels *Calanus glacialis*, *Pseudocalanus minutus* et *Metridia longa* (Runge et Ingram 1988, 1991; Runge *et al.* 1991), ce qui permet à ceux-ci de commencer leur reproduction bien avant la poussée phytoplanctonique estivale (Tourangeau et Runge 1991). La production hâtive d'oeufs et de nauplii de copépodes qui en découle génère des conditions favorables de nutrition pour les stades larvaires de poissons qui émergent au printemps dans le sud-est de la baie d'Hudson (Runge *et al.* 1991).

Des travaux de recherche effectués dans la région du panache de la Grande rivière de la Baleine au printemps révèlent qu'effectivement, les stades larvaires de plusieurs espèces de poissons marins émergent sous le couvert de glace saisonnier au printemps (Ponton *et al.* 1993). Les larves de deux espèces, soit la morue arctique (*Boreogadus saida*) et le lançon (*Ammodytes* sp.), sont particulièrement abondantes et se nourrissent principalement d'oeufs et de nauplii de copépodes dont la production résulte de la maturation des copépodes cyclopoïdes grâce au broutage des algues sous la banquise (Drolet *et al.* 1991; Fortier *et al.* 1995). Après la résorption du sac vitellin, les larves des deux espèces traversent une période critique de nutrition qui coïncide avec la période d'abondance maximale de leurs proies, un synchronisme qui pourrait refléter une adaptation pour minimiser la mortalité reliée à la famine (Drolet *et al.* 1991).

Cependant, ces mêmes travaux ont permis de constater que les larves de morue arctique et de lançon qui émergent avant la débâcle du couvert de glace saisonnier dans la région côtière du sud-est de la baie d'Hudson sont soumises à des conditions environnementales extrêmes qui affectent leur alimentation (Gilbert *et al.* 1992; Ponton et Fortier 1992; Fortier *et al.* 1996). L'expansion printanière du panache de la Grande rivière de la Baleine sous la banquise côtière affecte l'abondance locale des proies des larves de même que les conditions de luminosité dans

la partie supérieure de la colonne, ce qui réduit le succès de leur alimentation (Gilbert *et al.* 1992; Fortier *et al.* 1996). Ainsi, les larves de morue arctique et de lançon ne peuvent s'alimenter de façon intensive qu'après la débâcle lorsque l'intensité lumineuse dans la colonne d'eau n'est plus limitante pour leur alimentation (Gilbert *et al.* 1992). Sous le couvert de glace, les larves des deux espèces ont tendance à s'accumuler près de la pycnocline, immédiatement sous le panache, où les conditions de nutrition sont les plus favorables en termes d'abondance des proies et d'intensité lumineuse (Ponton et Fortier 1992).

Actuellement, on ne sait pas dans quelle mesure ces différents processus influencent la survie des larves et le recrutement des populations de lançon et de morue arctique dans le sud-est de la baie d'Hudson. D'une part, les distributions spatiales à grande échelle des larves au printemps et en été n'ont pas été examinées dans cette région; on ne peut donc déterminer dans quelle proportion les cohortes de larves sont influencées par les processus côtiers. D'autre part, l'influence des apports d'eau douce sur les conditions trophiques estivales des larves n'est pas connue, de sorte qu'on ne peut prédire leur survie en été et à l'automne dans le sud-est de la baie d'Hudson.

Néanmoins, les travaux effectués jusqu'à ce jour démontrent qu'une modification des débits d'eau dans le sud-est de la baie d'Hudson, suite à la réalisation du projet Grande Baleine, affecterait vraisemblablement la dynamique des larves de poissons marins qui apparaissent sous le couvert de glace saisonnier dans la région côtière au printemps. Les réductions de débit aux embouchures de la Grande rivière de la Baleine et de la Petite rivière de la Baleine entraîneraient des augmentations locales : 1) de la salinité des eaux de surface, 2) de la production d'algues des glaces au printemps, et 3) de l'intensité lumineuse sous la banquise, améliorant ainsi les conditions de nutrition des larves de poissons. Par contre, le détournement des apports fluviaux d'eau douce dans le détroit de Manitounuk entraînerait la formation d'un panache d'eau douce important en hiver et au printemps, ce qui aurait une influence négative sur les larves présentes dans le détroit et près de son embouchure en cette période de l'année.

**Hypothèse 11 : Une modification des apports d'eau douce dans le sud-est de la baie d'Hudson pourrait affecter le recrutement des populations de lançon et de morue arctique de cette région.**

Objectifs : Déterminer la distribution spatiale à grande échelle des larves de lançon et de morue arctique au printemps et en été dans le sud-est de la baie d'Hudson; déterminer l'influence des apports d'eau douce sur les conditions de nutrition des larves en été.

Le détroit de Manitounuk, qui s'étend sur une longueur d'environ 60 km et une largeur moyenne de 3 km, est situé entre les embouchures de la Grande rivière de la Baleine et de la Petite rivière de la Baleine. La circulation de surface et les caractéristiques de ses masses d'eau sont fortement influencées par le panache de la Grande rivière de la Baleine, dont l'embouchure est située à environ 10 km au sud de l'entrée du détroit (Ingram 1979). Cette influence se traduit en surface par une circulation et un gradient croissant de salinité qui sont orientés de l'entrée sud-ouest vers l'extrémité nord-est du détroit (Poulin *et al.* 1983; Ingram et Larouche 1987a).

Parallèlement, un gradient croissant important dans la production, la biomasse et la diversité des algues des glaces y a également été observé (Poulin *et al.* 1983).

La morue du Groenland (*Gadus ogac*) et le capelan (*Mallotus villosus*) constituent les deux espèces de poissons les plus importantes dans le détroit de Manitounuk (Talbot 1977; Power et Auger 1978). Ces deux espèces sont d'ailleurs probablement exploitées par les bélugas qui fréquentent cette région en été (Breton-Provencher 1979b), tandis que la morue constitue aussi une source d'alimentation importante pour les populations autochtones locales (Morin et Dodson 1986). Les deux espèces semblent se reproduire dans le détroit, des larves y ayant été capturées par Power et Auger (1978) pendant l'été. Cependant, le capelan est une espèce migratrice qui se reproduit généralement sur une étendue de plusieurs centaines de kilomètres de côte (Parent et Brunel 1976). Par conséquent, il est peu probable que l'abondance locale ou totale de cette espèce soit influencée significativement par le taux de survie des larves produites dans le détroit de Manitounuk. Par contre, la morue du Groenland qui fréquente la côte est de la baie James n'effectue pas de migrations importantes et se reproduit entre les mois d'avril et juin (Morin *et al.* 1991). Si tel est le cas dans le sud-est de la baie d'Hudson, l'abondance des morues adultes dans la région du détroit serait vraisemblablement déterminée par le taux de survie des larves produites localement; la population de morue pourrait donc être affectée par une augmentation locale du taux de mortalité larvaire.

Les aménagements hydroélectriques prévus causeront des changements spatio-temporels significatifs des apports d'eau douce dans le sud-est de la baie d'Hudson, ce qui aura pour effet de modifier la circulation et la salinité de surface dans le détroit de Manitounuk. Ces modifications du milieu physique pourraient avoir des incidences significatives sur la survie des larves de poissons et, en particulier, de la morue du Groenland. D'une part, les changements dans la circulation à l'intérieur du détroit modifieraient probablement les patrons de dispersion des larves de poissons qui y sont produites. D'autre part, les changements de la salinité de surface pourraient affecter les conditions de nutrition des larves de poissons en diminuant l'abondance des algues associées aux glaces d'eau salée, réduisant ainsi la productivité biologique du détroit.

**Hypothèse 12 : Le détroit de Manitounuk constituerait un site d'éclosion et de développement important pour les larves de poissons et particulièrement pour les larves de morue du Groenland (*Gadus ogac*).**

Objectifs : Déterminer l'abondance et la distribution estivales des larves de poissons dans le détroit de Manitounuk et ses environs; déterminer les variations spatio-temporelles de la condition physiologique des larves qui sont produites dans le détroit.

**Hypothèse 13 : Les modifications physiques des eaux du détroit de Manitounuk causées par les aménagements hydroélectriques affecteraient la survie des larves de poissons dans la région du détroit.**

Objectifs : Déterminer l'impact des modifications de la circulation sur la distribution des larves de poissons dans la région du détroit de Manitounuk et sur l'abondance saisonnière de leurs ressources alimentaires dans le détroit.

### 3.3.3 Saumon atlantique de la rivière Nastapoka

Bien que l'on connaisse depuis longtemps l'existence de plusieurs populations de saumons atlantique (*Salmo salar*) dans les rivières du bassin hydrographique de la baie d'Ungava, ce n'est qu'au cours des années quatre-vingt qu'on a constaté la présence de cette espèce dans la partie inférieure de la rivière Nastapoka (Morin 1991). Deux sondages auprès des pêcheurs autochtones de la côte est de la baie d'Hudson indiquent qu'aucune autre population de saumons atlantique n'est connue dans cette région (Morin 1991). Cependant, Le Jeune et Legendre (1968) et Morin *et al.* (1980) rapportent respectivement la capture d'un saumon atlantique dans la rivière Kogaluc et dans la rivière Innuksuac.

Malgré le faible nombre d'observations, on a beaucoup spéculé sur l'origine post-glaciaire du saumon atlantique dans la baie d'Hudson (Salonius 1973; McAllister 1975; Legendre et Legendre 1984; Power *et al.* 1987). En effet, le saumon atlantique est aussi présent dans la rivière Nastapoka en amont d'un escarpement infranchissable d'une hauteur d'environ 35 m, et situé à 1,5 km de l'embouchure. Ceci permet de supposer que le saumon atlantique aurait colonisé la rivière Nastapoka à partir de la baie d'Ungava en transitant entre le bassin hydrographique des rivières Koksoak et aux Mélèzes et celui de la rivière Nastapoka, après la déglaciation (Morin 1991).

Dans la partie aval de la rivière, le saumon atlantique et l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) se nourrissent surtout d'amphipodes et de poissons marins (Morin 1991) tout en se distinguant sur plusieurs aspects. L'omble de fontaine croît plus rapidement que le saumon atlantique et il atteint une taille maximale supérieure. Bien que sa longévité soit moindre que celle du saumon atlantique, l'omble de fontaine atteint plus rapidement sa maturité sexuelle, et sa capacité de reproduction ainsi que sa fécondité sont supérieures (Morin 1991). Par contre, le saumon atlantique possède de meilleures capacités natatoires et d'osmorégulation que l'omble de fontaine (Lindsey 1978; Power 1980; McCormick *et al.* 1985); ce qui démontre son adaptabilité supérieure aux conditions de salinité et de courant dans cette partie de la rivière.

Dans les écosystèmes lotiques, les modifications du régime de débit entraînent des changements dans la disponibilité de l'habitat physique, de la physico-chimie de l'eau, du cycle des nutriments, de la relation biomasse-énergie, et de la dynamique des populations et des communautés du biote aquatique (Sale 1985). Par conséquent, une perspective écosystémique est essentielle pour comprendre les incidences des modifications du débit et pour établir des règles de gestion du débit.

Selon Trihey et Baldrige (1985), la compétition des salmonidés pour la nourriture et pour l'espace, tant dans les fosses qu'en eaux rapides, résulte généralement en une hiérarchie de territoires dans une section donnée de la rivière. La qualité d'habitat de ces territoires varie de faible à idéale et est répartie entre les individus selon leur espèce et leur taille.

Les principales variables de l'habitat physique sont la profondeur, la vitesse des courants, le substrat, la couverture ainsi que leur variabilité spatio-temporelle. Parce qu'elles sont directement affectées par les modifications de débit, on a souvent cherché à modéliser l'écoulement du cours d'eau. Cependant, ces modèles ne tiennent pas compte ou simplifient à l'excès les plages



de préférence et de tolérance que démontrent les espèces envers leur habitat physique (Sale 1985), variables comportementales qui sont particulièrement importantes chez les poissons. Lorsqu'il est possible de présumer que l'espèce étudiée peut se déplacer dans la rivière pour trouver les cellules de microhabitats convenables, la seule considération importante de l'analyse est la superficie totale d'habitat disponible en fonction du débit. Pour les stades juvéniles et adultes de poissons, cette présomption semble acceptable. Par contre, Bovee (1985) cite plusieurs travaux pour appuyer une assertion à l'effet que les incidences des modifications de débit se font sentir davantage sur leur nourriture que sur les poissons eux-mêmes.

Le détournement partiel de la rivière Nastapoka pourrait donc affecter les populations de saumons atlantique et d'ombles de fontaine en réduisant l'habitat d'eau douce qui est actuellement disponible pendant les périodes critiques du frai et de l'hivernage, affectant ainsi davantage l'une ou l'autre des espèces. Tel qu'observé par Lepage et Ingram (1986) pour la rivière Eastmain, une réduction du débit à l'embouchure entraîne une diminution de l'étendue du panache d'eau douce et permet une intrusion saline plus importante vers l'amont de la rivière. Dans le cas de la rivière Nastapoka, cela réduirait l'étendue de l'habitat d'eau douce qui est délimité par le front salin et par la chute infranchissable, et réduirait aussi la vitesse du courant. Compte tenu des caractéristiques précitées de chacune des espèces, les connaissances actuelles de ces populations et de leur utilisation spatio-temporelle de l'habitat ne permettent pas de déterminer avec beaucoup de certitude quels seraient les effets du détournement partiel de la rivière Nastapoka.

En tout premier lieu, il pourrait être important d'établir si la population de saumons atlantique de la rivière Nastapoka est génétiquement isolée ou bien s'il y a des échanges avec des populations de saumons atlantique du bassin hydrographique de la baie d'Ungava.

Dans un deuxième temps, on pourrait évaluer les effets de la réduction du débit de la rivière Nastapoka sur les populations de saumons atlantique et d'ombles de fontaine. La réponse des populations lotiques de poissons aux modifications de débit varie probablement en fonction de l'espèce, des caractéristiques du cours d'eau, et de la quantité disponible de l'habitat requis. Il pourrait donc être nécessaire de compléter l'information disponible sur les cycles de vie du saumon atlantique et de l'omble de fontaine de la rivière Nastapoka et, en particulier, sur l'alimentation, les périodes de frai et de migration des saumoneaux, en vue d'établir les exigences et l'utilisation de la zone d'eau douce par ces deux espèces au cours de leurs différents stades dulçaquicoles.

Parallèlement à ces travaux, on pourrait décrire, pour la section de la rivière Nastapoka qui se trouve en aval de la chute infranchissable, les régimes annuels actuels et prévus du débit. De plus, on pourrait cartographier l'occupation de cette section du cours d'eau par les espèces dont se nourrissent le saumon atlantique et l'omble de fontaine. Ultimement, ces travaux permettraient de modéliser les incidences d'une réduction du débit de la rivière Nastapoka sur les proies du saumon atlantique et de l'omble de fontaine, et d'évaluer les effets conséquents sur la dynamique de ces populations de poissons.

**Hypothèse 14 : La distance génétique serait faible ou inexistante entre les populations de saumon atlantique de la rivière Nastapoka, de la rivière aux Mélézes et de la rivière Koksoak.**

Objectif : Évaluer le niveau de diversité génétique du saumon atlantique des deux bassins hydrographiques adjacents.

**Hypothèse 15 : Les alevins et les tacons de saumon atlantique ainsi que les autres espèces de poissons occupent des habitats préférentiels dans le secteur situé en aval des chutes de la rivière Nastapoka.**

Objectif : Décrire l'utilisation de la zone d'eau douce de la partie inférieure de la rivière Nastapoka par les jeunes stades du saumon atlantique (alevins, tacons et saumonneaux) et de l'omble de fontaine; et établir les liens importants de cette utilisation avec la saison et avec le débit de la rivière.

#### **3.3.4 Distribution et abondance du phoque annelé (*Phoca hispida*) sur la côte est de la baie d'Hudson**

La région de la baie d'Hudson comporte une importante biomasse de phoques annelés, *Phoca hispida*, ainsi que des biomasses moindres de morses, *Odobenus rosmarus*, et de phoques barbus, *Erignathus barbatus* (T. Smith, Garthby, Québec, comm. pers.).

Le phoque annelé, qui constitue la principale proie de l'ours polaire, séjourne à longueur d'année dans la baie d'Hudson. L'unique estimation d'abondance de la population de la baie d'Hudson est d'environ 450 000 individus (Smith 1975a), ce qui est trop peu étant donné le nombre d'ours polaires qu'elle supporte (T. Smith, Garthby, Québec, comm. pers.). En outre, il y a peu d'information sur l'abondance et la distribution du phoque annelé dans la baie James et le sud-est de la baie d'Hudson.

Le succès reproducteur, la disponibilité de la nourriture et l'exposition aux prédateurs sont considérés comme des facteurs importants pour la distribution et l'abondance des populations de phoques annelés (Smith et Hammill 1981; Smith 1987; Hammill et Smith 1989, 1991; Hammill *et al.* 1991; Smith *et al.* 1991).

Comparativement à d'autres régions arctiques, les mammifères marins de la baie d'Hudson ont été peu étudiés. Dans le cas du phoque annelé, aucune étude n'a été effectuée pour évaluer l'habitat d'alimentation ou l'habitat de glace côtière qui sert à la reproduction. Des études sur la productivité secondaire et les poissons marins sont nécessaires pour comprendre les facteurs qui régissent l'abondance et la distribution du phoque annelé. D'autres travaux portant sur les caractéristiques et la distribution des glaces sont aussi essentiels pour quantifier l'habitat de reproduction.

Les modifications des débits d'eau douce aux embouchures des rivières Nastapoka, Petite rivière de la Baleine, Domanchin et Grande rivière de la Baleine pourraient entraîner des change-

ments des conditions locales des glaces qui, à leur tour, pourraient affecter les populations de phoques annelés.

Afin d'évaluer les incidences des aménagements hydroélectriques éventuels du projet Grande Baleine sur la population de phoques annelés de la région du détroit de Manitousuk, des informations de base pourraient être recueillies sur leur abondance, leur distribution et leur alimentation. À la fin de l'hiver et au printemps, des études pourraient être effectuées afin de déterminer leur distribution, de caractériser leur habitat et les aires de soin des jeunes, en utilisant des monteiges et des chiens entraînés (Smith et Stirling 1975; Hammill et Smith 1989, 1990). À la fin du printemps, les travaux pourraient être effectués lors de survols aériens (Kingsley *et al.* 1985) afin d'obtenir une couverture plus vaste de la zone d'étude. Des données sur les conditions de glace provenant d'images satellites prises en hiver pourraient être combinées avec les informations sur les habitats afin d'élaborer des cartes à grande échelle. Ces cartes illustreraient aussi les informations sur les facteurs affectant la consolidation des glaces (Larouche et Galbraith 1989) et la sélection de l'habitat par les phoques (Hammill et Smith 1989). Quelques observations télémétriques sur le comportement et les déplacements seraient requises pour déterminer les facteurs de correction à appliquer afin de tenir compte des individus qui sont immergés lors des décomptes aériens. Avec l'assistance de maître-chasseurs autochtones, quelques spécimens de la région pourraient être capturés afin de déterminer leur diète et les concentrations en métaux lourds dans les différents tissus.

La réalisation du projet Grande Baleine pourrait également entraîner une augmentation de la concentration des métaux lourds dans les tissus des différentes espèces de phoques de la région, dont les phoques annelés qui fréquentent la côte est de la baie d'Hudson et qui constituent une source de nourriture pour les Inuits qui habitent à Kuujuarapik et Umiujaq (Smith 1975a).

**Hypothèse 4 : Les phoques annelés utilisent les crêtes de pression comme habitat de reproduction et une modification du régime et des caractéristiques des glaces pourrait affecter l'abondance de cette espèce dans la zone côtière.**

Objectif : Déterminer l'abondance des phoques annelés ainsi que les relations entre l'utilisation des glaces et leurs caractéristiques dans les secteurs potentiellement touchés en effectuant des relevés sur le terrain de manière à étalonner les images satellitaires des glaces.

### **3.3.5 Le phoque commun (*Phoca vitulina*) des lacs des Loups-Marins**

Le phoque commun se retrouve le long des côtes des baies d'Hudson et d'Ungava et dans un grand nombre de lacs et de rivières à l'intérieur des bassins hydrographiques des baies d'Hudson et d'Ungava (Doutt 1942, 1954; Mansfield 1967; Power et Grégoire 1978; Smith et Horonowitsch 1987). Doutt (1942, 1954) a examiné deux spécimens provenant des lacs des Loups-Marins et en a conclu qu'ils étaient différents des individus retrouvés dans les régions côtières. Les phoques d'eau douce ont donc été classifiés comme étant une sous-espèce, *Phoca vitulina mellonae*. Mansfield (1967) a ré-examiné ces résultats et a proposé une classification

plus conservatrice du phoque d'eau douce avec le phoque commun (*Phoca vitulina concolor*) qui se retrouve le long de la côte atlantique.

Le détournement projeté des eaux du bassin hydrographique de la rivière Nastapoka pourrait entraîner des modifications significatives de l'habitat du phoque d'eau douce, telles qu'un abaissement du niveau d'eau des lacs, une modification des conditions de glace et une altération des sources de nourriture. Présentement, les informations disponibles sur leur abondance, leur distribution saisonnière et leur régime alimentaire ne permettent pas une bonne évaluation des incidences sur la population de phoques d'eau douce.

**Hypothèse 16 : La distance génétique est faible ou inexistante entre les phoques des lacs des Loups-Marins, ceux des côtes de la baie d'Ungava, et ceux de la côte est de la baie d'Hudson.**

Objectif : Évaluer le niveau de diversité génétique du phoque des deux bassins hydrographiques adjacents du Nouveau-Québec.

**Hypothèse 17 : Le détournement d'eau du bassin hydrographique de la rivière Nastapoka n'affectera pas l'habitat et la population de phoques d'eau douce.**

Objectif : Évaluer les incidences du détournement d'eau du bassin hydrographique de la rivière Nastapoka sur l'habitat et sur la population de phoques d'eau douce en déterminant l'abondance de la population, le comportement de reproduction ainsi que les variations saisonnières du régime alimentaire, de la distribution et des déplacements.

### ***3.3.6 Incidences potentielles du projet Grande Baleine sur l'habitat du béluga (*Delphinapterus leucas*) dans le sud-est de la baie d'Hudson***

Les bélugas de la baie d'Hudson ont été peu étudiés comparativement aux autres populations de l'Arctique canadien. Des estimations d'abondance existent toutefois pour les populations qui fréquentent les baies James et d'Hudson durant l'été. Environ 2 000 individus fréquentent les régions côtières et hauturières de l'est des baies James et d'Hudson (Smith et Hammill 1986) tandis que du côté ouest de la baie d'Hudson, environ 23 000 individus ont été dénombrés (Richard *et al.* 1990).

Les récents travaux dans la baie d'Hudson n'ont pas permis de démontrer que les bélugas de l'est et de l'ouest de la baie constituent deux populations distinctes, tel que l'ont prétendu Sergeant (1973, 1986) et Finley *et al.* (1982). Il semble plutôt qu'en été les bélugas ont une distribution continue le long des côtes des baies James et d'Hudson et qu'à l'automne, la majorité des individus migrent vers le détroit d'Hudson où ils séjournent jusqu'au printemps (Richard *et al.* 1990). Toutefois, certains individus ont été observés dans des zones d'eau libre de la baie James durant l'hiver (Jonkel 1969).

Localement, la disparition graduelle des bélugas qui fréquentaient la Petite rivière de la Baleine et surtout la Grande rivière de la Baleine durant l'été tend à confirmer l'hypothèse de stocks estuariens philopatriques (Richard *et al.* 1990). L'exploitation commerciale du béluga aux embouchures de ces deux rivières au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle a entraîné un déclin important de son abondance locale (Finley *et al.* 1982; Reeves et Mitchell 1987), ce qui tend à montrer que l'immigration, si elle existait, n'a pas permis de maintenir ces concentrations (Richard *et al.* 1990). De plus, les travaux de Caron et Smith (1990) ont montré une certaine fidélité interannuelle au site de la part des bélugas qui fréquentent l'estuaire de la rivière Nastapoka en été.

Actuellement, les sites importants de fréquentation estivale par le béluga dans le sud-est de la baie d'Hudson sont les estuaires de la rivière Nastapoka et de la Petite rivière de la Baleine, de même que le lac Guillaume-Delisle (Reeves et Mitchell 1987). Il semble que l'estuaire de la Grande rivière de la Baleine ne soit plus un site privilégié par le béluga (Reeves et Mitchell 1987) même si des individus sont régulièrement observés dans cette région durant l'été (Breton-Provencher 1979b). Contrairement aux hypothèses selon lesquelles les estuaires constituent des aires d'alimentation (Seaman et Burns 1981) et de développement des jeunes (Sergeant 1973, Caron et Smith 1990), les travaux récents suggèrent plutôt que la fréquentation des estuaires par les bélugas serait liée à la mue (Smith *et al.* 1992), les températures plus élevées et les salinités plus faibles des estuaires favorisant la prolifération et le renouvellement des cellules épidermiques (St. Aubin *et al.* 1990).

**Hypothèse 18 : La réduction du débit aux embouchures de la rivière Nastapoka et de la Petite rivière de la Baleine, suite à la réalisation du projet Grande Baleine, pourrait entraîner chez le béluga :**

- **une perte d'habitats de mue;**
- **une diminution de son abondance locale, ce qui affecterait la disponibilité de cette ressource pour les populations humaines autochtones;**
- **une contamination au mercure des individus qui s'alimentent près des estuaires situés en aval des réservoirs;**
- **une altération possible des périodes de migration, suite aux changements dans les régimes hydrodynamiques et thermiques de même que dans les conditions de glace; et**
- **des coûts énergétiques accrus en raison d'un retard possible dans l'augmentation de la température des estuaires, et de l'augmentation des déplacements et du stress engendrés par les nouvelles conditions physiques de l'eau.**

Objectifs : 1) Déterminer les principales zones de fréquentation des bélugas durant l'été, les échanges entre elles, de même que le comportement des individus dans chacune des zones déterminées. 2) Déterminer les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques qui semblent être recherchées par les bélugas dans le sud-est de la baie d'Hudson. 3) Comparer les modifications physiques et chimiques possibles du milieu côtier aux caractéristiques des différents habitats du béluga.

#### 4.0 CONCLUSION

L'aménagement du complexe Grande Baleine pourrait entraîner des modifications significatives des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du milieu marin dans la région du sud-est de la baie d'Hudson. La plupart des aspects environnementaux relatifs au milieu marin qui sont discutés dans le présent rapport concernent les incidences locales des aménagements hydroélectriques du futur complexe Grande Baleine. Ces aspects touchent essentiellement les zones côtières comprenant les estuaires de la Grande rivière de la Baleine, de la Petite rivière de la Baleine et de la rivière Nastapoka, de même que le détroit de Manitounuk.

Par ailleurs, la mise en oeuvre de plusieurs projets de développement hydroélectrique impliquant des rivières dont les eaux se déversent dans les baies James et d'Hudson soulève la problématique des effets cumulatifs de l'ensemble de ces projets sur l'environnement marin de cette région. Bien que cette question n'ait pas été abordé lors des rencontres du Groupe de Travail, il n'en reste pas moins que les impacts cumulatifs constituent un aspect important de l'évaluation environnementale du projet de développement hydroélectrique Grande Baleine compte tenu des autres aménagements hydroélectriques actuels et projetés dans le bassin hydrographique des baies James et d'Hudson (voir l'Annexe 3). En effet, Prinsenberg (1980, 1982b, 1983, 1991) a formulé certaines prédictions concernant les effets cumulatifs du développement hydroélectrique sur l'océanographie physique des baies James et d'Hudson, notamment :

- une diminution de la salinité en surface et une augmentation de la circulation résiduelle dans les eaux de surface au nord-est de la baie James durant l'hiver (Prinsenberg 1982b);
- une formation plus hâtive de la couche de surface en hiver, réduisant ainsi la profondeur maximale de la couche de mélange (Prinsenberg 1983); et
- un prolongement de la couverture de glace saisonnière et, par conséquent, un retard de la débâcle au printemps (Prinsenberg 1991).

Cependant, les résultats de ces travaux ne permettent pas de quantifier les changements physiques avec suffisamment de précision ou sur des échelles spatiales et temporelles permettant d'évaluer les conséquences biologiques de ces changements. Néanmoins, le développement récent d'un modèle tridimensionnel de la circulation et du couvert de glace dans la baie d'Hudson (Saucier et Dionne 1996) a permis de résoudre en partie ces contraintes et pourrait éventuellement être utilisé pour évaluer la contribution du projet Grande Baleine aux impacts cumulatifs du développement hydroélectrique dans les baies James et d'Hudson.

#### 5.0 REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Hydro-Québec, Ontario Hydro et Manitoba Hydro qui ont fourni les informations sur leurs projets d'aménagements hydroélectriques dans les baies James et d'Hudson. Nous sommes aussi redevables à Sylvie Sirois pour ses services de traitement de texte. Des remerciements vont également aux docteurs Jean Piuze, Louis Fortier, Vladimir G. Koutitonsky, Ross F. Tallman et James N. Bunch dont les commentaires et les suggestions ont permis d'améliorer la qualité de ce document.

## 6.0 BIBLIOGRAPHIE

- Anderson, J.T. et J.C. Roff. 1980a. Seston ecology of the surface waters of Hudson Bay. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37 : 2242-2253.
- Anderson, J.T. et J.C. Roff. 1980b. Subsurface chlorophyll *a* maximum in Hudson Bay. *Naturaliste can.* 107 : 207-213.
- Anderson, J.T., J.C. Roff et J. Gerrath. 1981. The diatoms and dinoflagellates of Hudson Bay. *Can. J. Bot.* 59 : 1793-1810.
- Aota, M., K. Shirasawa, M. Ishikawa et R.G. Ingram. 1988. On the salinity and crystallographical structure of sea ice near a river mouth. *Low Temp. Sci.* A47 : 197-211.
- Atkinson, E.G. et J.W. Wacasey. 1989. Benthic invertebrates collected from Hudson Bay, Canada, 1953 to 1965. *Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci.* 744: 125 p.
- Barber, F.G. et M.M. Lardner. 1968. Water and Ice, p.287-341. Dans C.S. Beals (éd.). *Science, History and Hudson Bay, Volume 1.* Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa.
- Barlow, R.G., M. Gosselin, L. Legendre, J.-C. Therriault, S. Demers, R.F.C. Mantoura et C.A. Llewellyn. 1988. Photoadaptative strategies in sea-ice microalgae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 45 : 145-152.
- Berkes, F. et M.M.R. Freeman. 1986. Human ecology and resource use, p. 425-456. Dans I.P. Martini (éd.). *Canadian Inland Seas.* Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Amsterdam.
- Bovee, K.D. 1985. Evaluation of the effects of hydropeaking on aquatic macroinvertebrates using PHABSIM, p. 236-241. Dans F.W. Olson, R.G. White et R.H. Hamre (éds.). *Proceedings of the symposium on small hydropower and fisheries.* The American Fisheries Society, Bethesda, MD, USA.
- Bradstreet, M.S.W. et W.E. Cross. 1982. Trophic relationships at high arctic ice edges. *Arctic*, 35 : 1-12.
- Breton-Provencher, M. 1979a. Étude de la population de phoques annelés (*Phoca hispida*) et des autres pinnipèdes de la région de Poste-de-la-Baleine (Nouveau-Québec). GIROQ, projet Grande Baleine, études océanographiques dans la baie d'Hudson. Mandat d'avant-projet préliminaire Hydro-Québec/OGB 76-1.
- Breton-Provencher, M. 1979b. Étude de la population de bélugas de la région de Poste-de-la-Baleine (Nouveau-Québec). GIROQ, projet Grande Baleine, études océanographiques dans la baie d'Hudson. Mandat d'avant-projet préliminaire Hydro-Québec/OGB 76-1.

- Breton-Provencher, M. et A. Cardinal. 1978. Les algues benthiques des baies James et d'Hudson : État actuel des connaissances et nouvelles données sur les parties méridionales de ces régions. *Naturaliste can.* 105 : 277-284.
- Brousseau, C.S. et G.A. Goodchild. 1986. Fisheries and yields in the Moose River basin, Ontario, p. 145-158. Dans D.P. Dodge (éd.). *Proceedings of the International Large River Symposium*. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 106.
- Bursa, A.S. 1968. Marine plants, p. 343-351. Dans C.S. Beals (éd.). *Science, History and Hudson Bay, Volume 1*. Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa.
- Carey, A.G. 1985. Marine ice fauna : Arctic, p. 173-190. Dans R. Horner (éd.) *Sea ice biota*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Caron, L.M.J. et T.G. Smith. 1990. Philopatry and site tenacity of belugas, *Delphinapterus leucas*, hunted by the Inuit at the Nastapoka estuary, eastern Hudson Bay, p. 69-79. Dans T.G. Smith, D.J. St. Aubin et J.R. Geraci (éds.). *Advances in research on the beluga whale, Delphinapterus leucas*. *Can. Bull. Fish. Aquat. Sci.* 224.
- Commission internationale des grands barrages. 1984. Répertoire des barrages du Canada. Comité national canadien de la Commission internationale des grands barrages, 104 p.
- Cushing, D.H. 1972. The production cycle and the numbers of marine fish. *Symp. Zool. Soc. London*, 29 : 213-232.
- Dadswell, M.J. 1974. A physical and biological survey of La Grande River estuary, James Bay, Quebec. *Can. Field Nat.* 88 : 477-480.
- d'Anglejan, B. 1982. Patterns of recent sedimentation in the Eastmain estuary, prior to river cut-off. *Naturaliste can.* 109 : 363-374.
- d'Anglejan, B. et G. Biksham. 1988. Late winter - early spring sedimentation off the Great Whale River, southeastern Hudson Bay. *Can. J. Earth Sci.* 25 : 930-933.
- Danielson, E.W. Jr. 1971. Hudson Bay ice conditions. *Arctic*, 24 : 90-107.
- Demers, S., L. Legendre, S.Y. Maestrini, M. Rochet et R.G. Ingram. 1989. Nitrogenous nutrition of sea-ice microalgae. *Polar Biol.* 9 : 377-383.
- Denis, R. et P. Desroches. 1982. Modèles réduits de l'estuaire de la Grande rivière de la Baleine et du détroit de Manitousuk. *Naturaliste can.* 109 : 843-855.
- Dickson, I.W. 1975. Hydroelectric development of the Nelson River system in northern Manitoba. *J. Fish. Res. Board Can.* 32 : 106-116.



- Dionne, J.C. 1980. An outline of the eastern James Bay coastal environments, p. 331-338. Dans: S.B. McMann (éd.). Geological Survey of Canada, 80-10.
- Doan, K.H. et C.W. Douglas. 1953. Beluga of the Churchill region of Hudson Bay. Bull. Fish. Res. Board Can. 98: 27 p.
- Dodson, J.J., Y. Lambert et L. Bernatchez. 1986. Comparative migratory and reproductive strategies of the sympatric anadromous coregonine species of James Bay, p. 296-315. Dans M.A. Rankin (éd.). Migration: mechanisms and adaptative significance. Contr. Mar. Sci. Suppl. 27.
- Doidge, D.W. 1990a. Age-length and length-weight comparisons in the beluga, *Delphinapterus leucas*, p. 59-68. Dans T.G. Smith, D.J. St. Aubin et J.R. Geraci (éds.). Advances in research on the beluga whale, *Delphinapterus leucas*. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 224.
- Doidge, D.W. 1990b. Integumentary heat loss and blubber distribution in the beluga, *Delphinapterus leucas*, with comparisons to the narwhal, *Monodon monoceros*, p. 129-140. Dans T.G. Smith, D.J. St. Aubin et J.R. Geraci (éds.). Advances in research on the beluga whale, *Delphinapterus leucas*. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 224.
- Donaldson, J.A. 1986. Precambrian geology, p. 1-16. Dans I.P. Martini (éd.). Canadian Inland Seas. Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Amsterdam.
- Doty, M.S. et M. Oguri. 1956. The island mass effect. J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer, 22 : 33-37.
- Doutt, J.K. 1942. A review of the genus *Phoca*. Ann. Carnegie Mus. 29 : 61-125.
- Doutt, J.K. 1954. Observations on mammals along the east coast of Hudson Bay and the interior of Ungava. Ann. Carnegie Mus. 33 : 235-249.
- Drinkwater, K.F. 1986. Physical oceanography of Hudson Strait and Ungava Bay, p. 237-264. Dans I.P. Martini (éd.). Canadian Inland Seas. Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Amsterdam.
- Drolet, R. 1990. Cycle de production des larves de poissons et de leur ressource en milieu subarctique (baie d'Hudson). Thèse de maîtrise, Université Laval, Ste-Foy, Qc, 71 p.
- Drolet, R., L. Fortier, D. Ponton et M. Gilbert 1991. The production of fish larvae and their food resource in subarctic southeastern Hudson Bay. Mar. Ecol. Prog. Ser. 77 : 105-118.
- Dunbar, M.J. 1958. Physical oceanographic results of the "Calanus" expeditions in Ungava Bay, Frobisher Bay, Cumberland Sound, Hudson Strait and Northern Hudson Bay, 1949-55. J. Fish. Res. Board Can. 15 : 155-201.

- Dunbar, M.J. 1966. The sea waters surrounding the Québec-Labrador peninsula. Cah. Géogr. Québec. 19 : 13-35.
- Dunbar, M.J. 1970. On the fishery potentiel of the seawaters of the Canadian north. Arctic, 23 : 150-174.
- Dunbar, M.J. 1982. Oceanographic research in Hudson and James Bays. Naturaliste can. 109 : 677-683.
- Efford, I.E. 1975. Assessment of the impact of hydro-dams. J. Fish. Res. Board Can. 32 : 196-209.
- El-Sabh, M. et V. Koutitonsky. 1977. An oceanographic study of James Bay before the completion of the La Grande hydroelectric complex. Arctic, 30 : 169-186.
- Finley, K.J., G.W. Miller, M. Allard, R.A. Davis et C.R. Evans. 1982. Les bélugas (*Delphinapterus leucas*) du Nouveau-Québec : Distribution, abondance, identification des stocks, historique des captures et gestion. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 1123F : vii + 61 p.
- Fortier, L., D. Ponton et M. Gilbert. 1995. The match/mismatch hypothesis and the feeding success of fish larvae in ice-covered southeastern Hudson Bay. Mar. Ecol. Prog. Ser. 120 : 11-27.
- Fortier, L., M. Gilbert, D. Ponton, R.G. Ingram, B. Robineau et L. Legendre. 1996. Impact of freshwater on a subarctic coastal ecosystem under seasonal sea-ice (southeastern Hudson Bay, Canada). III. Feeding success of marine fish larvae. J. Mar. Syst. 7 : 251-265.
- Foy, M.G. et S.I.C. Hsiao. 1976. Phytoplankton data from James Bay, 1974. Can. Fish. Mar. Serv. Res. Dev. Tech. Rep. 631 : 73 p.
- Freeman, N.G., J.C. Roff, et R.J. Pett. 1982. Physical, chemical, and biological features of river plumes under an ice cover in James and Hudson Bays. Naturaliste can. 109 : 745-764.
- Gaston, A.J., R. Decker, F.G. Cooch et A. Reed. 1986. The distribution of larger species of birds breeding on the coasts of Foxe Basin and northern Hudson Bay, Canada. Arctic. 39 : 285-296.
- Gilbert, M. 1991. Distribution et nutrition des stades larvaires de poissons du sud-est de la baie d'Hudson : Influence du couvert de glace sur la disponibilité de la lumière et des proies. Thèse de maîtrise, Université Laval, Ste-Foy, Qc, 76 p.
- Gilbert, M., L. Fortier, D. Ponton et R. Drolet. 1992. Feeding ecology of marine fish larvae across the Great-Whale River plume in seasonally ice-covered southeastern Hudson Bay. Mar. Ecol. Prog. Ser. 84 : 19-30.

- Godin, G. 1972. The tides of James Bay. Can. Dept. Env., Mar. Sci. Branch, Ms. Rep. 24 : 97-142.
- Godin, G. 1974. The tide in eastern and western James Bay. Arctic, 27 : 104-110.
- Goldberg, E.D. 1975. The mussel watch - a first step in global marine monitoring. Mar. Poll. Bull. 6 : 111.
- Gosselin, M., L. Legendre, S. Demers et R.G. Ingram. 1985. Responses of sea-ice microalgae to climatic and fortnightly tidal energy inputs (Manitounuk Sound, Hudson Bay). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42 : 999-1006.
- Gosselin, M., L. Legendre, J.-C. Therriault, S. Demers et M. Rochet. 1986. Physical control of the horizontal patchiness of sea-ice microalgae. Mar. Ecol. Prog. Ser. 29 : 289-298.
- Gosselin, M., L. Legendre, S. Demers et J.-C. Therriault. 1990. Light and nutrient limitation of sea-ice microalgae (Hudson Bay, Canadian Arctic). J. Phycol. 26 : 220-236.
- Grainger, E.H. 1961. The copepods *Calanus glacialis* Jaschnov and *Calanus finmarchicus* (Gunnerus) in Canadian Arctic-Subarctic waters. J. Fish. Res. Board Can. 18 : 663-678.
- Grainger, E.H. 1966. Sea stars (Echinodermata : Asteroidea) of Arctic North America. Bull. Fish. Res. Board Can. 152 : 70 p.
- Grainger, E.H. 1968. Marine life of Hudson Bay. II. Invertebrate animals, p. 351-360. Dans C.S. Beals (éd.). Science, History and Hudson Bay. Volume 1. Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa.
- Grainger, E.H. 1988. The influence of a river plume on the sea-ice meiofauna in south-eastern Hudson Bay. Estuar. Coast. Shelf Sci. 27 : 131-141.
- Grainger, E.H. et S. McSween. 1976. Marine zooplankton and some physical-chemical features of James Bay related to La Grande hydroelectric development. Can. Fish. Mar. Serv. Res. Dev. Tech. Rep. 650 : 94 p.
- Grenon, J.-F. 1982. The macrobenthic fauna of the Eastmain estuary (James Bay, Québec) before the diversion. Naturaliste can. 109 : 793-802.
- Griffiths, D.K., R.D. Pingree et M. Sinclair. 1981. Summer tidal fronts in the near-Arctic regions of Foxe Basin and Hudson Bay. Deep-Sea Res. 28A : 865-873.
- Hachey, H.B. 1931. Biological and oceanographic conditions in Hudson Bay. 6. The general hydrography and hydrodynamics of the waters of the Hudson Bay region. Contr. Can. Biol. 7 : 91-118.

- Hammill, M.O. et T.G. Smith. 1989. Factors affecting the distribution and abundance of ringed seal structures in Barrow Strait, Northwest Territories. *Can. J. Zool.* 67 : 2212-2219.
- Hammill, M.O. et T.G. Smith. 1990. Application of removal sampling to estimate the density of ringed seals (*Phoca hispida*) in Barrow Strait, Northwest Territories. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47 : 244-250.
- Hammill, M.O. et T.G. Smith. 1991. The role of predation in the ecology of the ringed seal in Barrow Strait, Northwest Territories, Canada. *Mar. Mamm. Sci.* 7 : 123-135.
- Hammill, M.O., C. Lydersen, M. Ryg et T.G. Smith. 1991. Lactation in the ringed seal (*Phoca hispida*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48 : 2471-2476.
- Harden-Jones, F.R. 1968. Fish migration. London, Edward Arnold, 325 p.
- Hedgpeth, J.W. 1963. Pycnogonida of the North American Arctic. *J. Fish. Res. Board Can.* 20 : 1315-1348.
- Hjort, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in light of biological research. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. Perm. Int. Explor. Mer*, 20 : 1-228.
- Hjort, J. 1926. Fluctuations in the year classes of important food fishes. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer*, 1 : 5-38.
- Hunter, J.G. 1968. Marine life of Hudson Bay. III. Fishes and Fisheries, p. 360-378. Dans C.S. Beals (éd.). *Science, History and Hudson Bay. Volume 1.* Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa.
- Huntsman, A.G. 1931. Biological and oceanographic conditions in Hudson Bay. I. Hudson Bay and the determination of fisheries. *Contr. Can. Biol. N.S.* 6 : 455-462.
- Huntsman, A.G. 1954. Production of life in Hudson Bay. *Trans. Roy. Soc. Can.* 48 : 25-29.
- Hydro-Québec. 1987. Aménagement de La Grande 1 (1986), Renseignements préliminaires. Hydro-Québec, Janvier 1987, 41 p.
- Hydro-Québec. 1989. Complexe Grande Baleine, bulletin 1. Bibliothèque Nationale du Québec, juin 1989, 14 p.
- Hydro-Québec. 1990. Complexe NBR, numéro 1. Bibliothèque Nationale du Québec, septembre 1990, 10 p.
- Hydro-Québec. 1991. Complexe Grande Baleine, bulletin 5. Bibliothèque Nationale du Québec, juin 1991, 24 p.

- Iles, T.D. et M. Sinclair. 1982. Atlantic herring : Stock discreteness and abundance. *Science* 215 : 627-633.
- Ingram, R.G. 1979. Circulation et caractéristiques des masses d'eau du détroit de Manitousuk et des estuaires de la Grande rivière de la Baleine et de la Petite rivière de la Baleine. GIROQ, rapport à Hydro-Québec; projet Grande Baleine (Mandat OGB/76-1), 146 p.
- Ingram, R.G. 1981. Characteristics of the Great Whale river plume. *J. Geophys. Res.* 86 : 2017-2023.
- Ingram, R.G. 1982. Mean and tidal circulation of the Eastmain River (James Bay). *Naturaliste can.* 109 : 733-743.
- Ingram, R.G. 1983. Salt entrainment and mixing processes in an under-ice river plume, p. 551-564. Dans H.G. Gade, A. Edwards et H. Svendsen (éds). *Coastal Oceanography*. Plenum Press, New York.
- Ingram, R.G. et P. Larouche. 1987a. Variability of an under-ice river plume in Hudson Bay. *J. Geophys. Res.* 92 : 9541-9547.
- Ingram, R.G. et P. Larouche. 1987b. Changes in the under-ice characteristics of La Grande Rivière plume due to discharge variations. *Atmos.-Ocean*, 25 : 242-250.
- Ingram, R.G., L. Legendre, Y. Simard et S. Lepage. 1985. Phytoplankton response to freshwater runoff : the diversion of the Eastmain River, James Bay. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42 : 1216-1221.
- Ingram, R.G., B.F. d'Anglejan, S. Lepage et D. Messier. 1986. Changes in current regime and turbidity in response to a freshwater pulse in the Eastmain estuary. *Estuaries*, 9 : 320-325.
- Ingram, R.G., J.C. Osler et L. Legendre. 1989. Influence of internal wave induced vertical mixing on ice algal production in a highly stratified sound. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 29 : 435-446.
- Ingram, R.G., S. Lepage et K. Shirasawa. 1990. Under-ice plume dynamics, p. 968-974. Dans E.J. List et G.H. Jirka (éds). *Stratified Flows*. American Society of Civil Engineers, New York.
- Ingram, R.G., J. Wang, C. Lin, L. Legendre et L. Fortier. 1996. Impact of freshwater on a subarctic coastal ecosystem under seasonal sea-ice (southeastern Hudson Bay, Canada). I. Interannual variability and predicted global warming influence on river plume dynamics and sea ice. *J. Mar. Syst.* 7 : 221-231.
- Jonkel, C.J. 1969. White whales wintering in James Bay. *J. Fish. Res. Board Can.* 26 : 2205-2207.

- Kemp, A., L. Bernatchez et J.J. Dodson. 1989. A revision of coregonine fish distribution and abundance in eastern James-Hudson Bay. *Env. Biol. Fishes*, 2 : 247-255.
- Kingsley, M.C.S., I. Stirling et W. Calvert. 1985. The distribution and abundance of seals in the Canadian high Arctic, 1980-82. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42 : 1189-1210.
- Kranck, K. et A. Ruffman. 1982. Sedimentation in James Bay. *Naturaliste can.* 109 : 353-361.
- Lambert, Y. et J.J. Dodson. 1982. Structure et rôle des facteurs physiques dans le maintien des communautés estuariennes de poissons de la baie James. *Naturaliste can.* 109 : 815-823.
- Larouche, P. 1989. Spring surface circulation patterns detected using remote sensing of drifting ice floes in Hudson Bay, Canada, p.780-782. *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Vancouver, Canada, 12-14 July 1989.*
- Larouche, P. 1990. Winter offshore/onshore wind differences in southeastern Hudson Bay, Canada. *Arctic*, 43 : 55-59.
- Larouche, P. et J.-M. Dubois. 1988. Évaluation dynamique de la circulation de surface utilisant la dérive de blocs de glace (baie d'Hudson, Canada). *Photo-Interprétation no. 1988-6, fascicule 3* : 19-28.
- Larouche, P. et J.-M. Dubois. 1990. Dynamical evaluation of the surface circulation using remote sensing of drifting ice floes. *J. Geophys. Res.* 95(C6) : 9755-9764.
- Larouche, P. et P.S. Galbraith. 1989. Factors affecting fast-ice consolidation in southeastern Hudson Bay, Canada. *Atmos.-Ocean*, 27 : 367-375.
- Lauenstein, G.G. 1988. The NOAA national status and trends Mussel Watch Program. *J. Shellfish Res.* 7 : 569.
- Legendre, L. et Y. Simard. 1979. Océanographie biologique estivale et phytoplancton dans le sud-est de la baie d'Hudson. *Mar. Biol.* 52 : 11-22.
- Legendre, L., R.G. Ingram et M. Poulin. 1981. Physical control of phytoplankton production under sea-ice (Manitounuk Sound, Hudson Bay). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38 : 1385-1392.
- Legendre, L., R.G. Ingram et Y. Simard. 1982. Aperiodic changes of water column stability and phytoplankton in an Arctic coastal embayment, Manitounuk Sound, Hudson Bay. *Naturaliste can.* 109 : 775-786.
- Legendre, L., M. Rochet et S. Demers. 1986. Sea-ice microalgae to test the hypothesis of photosynthetic adaptation to high frequency light fluctuations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 97 : 321-326.

- Legendre, L., S. Demers et M. Gosselin. 1987. Chlorophyll and photosynthetic efficiency of size-fractionated sea-ice microalgae (Hudson Bay, Canadian Arctic). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 40 : 199-203.
- Legendre, L., S. Demers et J.-C. Therriault. 1989. Responses of Arctic sea-ice microalgae to light and temperature: Physiological adaptations and ecological implications. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer*, 188 : 115-120.
- Legendre, L., M. Aota, K. Shirasawa, M.-J. Martineau et M. Ishikawa. 1991. Crystallographic structure of sea ice along a salinity gradient and environmental control of microalgae in the brine cells. *J. Mar. Syst.* 2 : 347-357.
- Legendre, L., M.-J. Martineau, J.-C. Therriault et S. Demers. 1992. Chlorophyll *a* biomass and growth of sea-ice microalgae along a salinity gradient (southeastern Hudson Bay, Canadian Arctic). *Polar Biol.* 12 : 445-453.
- Legendre, L., B. Robineau, M. Gosselin, C. Michel, R.G. Ingram, J.-C. Therriault, S. Demers, D. Monti et L. Fortier. 1996. Impact of freshwater on a subarctic coastal ecosystem under seasonal sea-ice (southeastern Hudson Bay, Canada). II. Production and export of microalgae. *J. Mar. Syst.* 7 : 233-250.
- Legendre, P. et V. Legendre. 1984. Postglacial dispersal of freshwater fishes in the Québec peninsula. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41 : 1781-1802.
- Leggett, W.C. 1986. The dependence of fish larval survival on food and predator densities, p. 117-137. Dans S. Skreslet (éd.). *The role of freshwater outflow in coastal marine ecosystems*. NATO ASI Series Vol. G7. Springer-Verlag, Berlin.
- Leiby, M.M. 1984. Life history and ecology of pelagic fish eggs and larvae, p. 121-140. Dans K.A. Steidinger et L.M. Walker (éds). *Marine plankton life cycle strategies*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Le Jeune, R. et V. Legendre. 1968. Extension d'aire du saumon d'eau douce (*Salmo salar*) au Québec. *Naturaliste can.* 95 : 1169-1173.
- Lepage, S. et R.G. Ingram. 1986. Salinity intrusion in the Eastmain River estuary following a major reduction of freshwater input. *J. Geophys. Res.* 91(C1) : 909-915.
- Lepage, S. et R.G. Ingram. 1988a. Estuarine response to a freshwater pulse. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 26 : 657-667.
- Lepage, S. et R.G. Ingram. 1988b. Modification of the Great Whale River plume during ice breakup, p. 120-127. *ACUNS Stud. Res. in Canada's North*, Ottawa.
- Lepage, S. et R.G. Ingram. 1991. Variation of upper layer dynamics during breakup of the seasonal ice cover in Hudson Bay. *J. Geophys. Res.* 96 : 12711-12724.

- Lindsey, C.C. 1978. Form, function, and locomotory habits in fish, p.1-100. Dans W.S. Hoar et R.J. Randall (éds). Fish physiology, Vol. 7, Academic Press, New York.
- Lockhart, L. 1992. Le mercure et autres contaminants stables dans les écosystèmes du Nord, p. 29-33. Les contaminants dans l'environnement marin du Nunavik. Actes du colloque, Montréal, 12 au 14 septembre 1990. Centre d'études nordiques, Collection Nordicana n° 56.
- Lubinsky, I. 1958. Studies on *Mytilus edulis* L. of the "Calanus" expedition to Hudson Bay and Ungava Bay. Can. J. Zool. 36 : 869-881.
- Maestrini, S.Y., M. Rochet, L. Legendre et S. Demers. 1986. Nutrient limitation of the bottom-ice microalgal biomass (southeastern Hudson Bay, Canadian Arctic). Limnol. Oceanogr. 31 : 969-982.
- Mansfield, A.W. 1967. Distribution of the harbour seal, *Phoca vitulina* Linnaeus, in Canadian Arctic waters. J. Mammal. 48 : 249-257.
- Markham, W.E. 1986. The ice cover, p. 101-116. Dans I.P. Martini (éd.). Canadian Inland Seas. Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Amsterdam.
- Martini, I.P. 1986. Coastal features of Canadian Inland Seas, p. 117-142. Dans I.P. Martini (éd.). Canadian Inland Seas. Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Amsterdam.
- Maxwell, J.B. 1986. A climate overview of the Canadian Inland Seas, p. 79-99. Dans I.P. Martini (éd.). Canadian Inland Seas. Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Amsterdam.
- McAllister, D.E. 1964. Fish collections from eastern Hudson Bay. Can. Field Nat. 78 : 167-178.
- McAllister, D.E. 1975. Ecology of the marine fishes of Arctic Canada, p.49-65. Proceedings of the Circumpolar Conference on Northern Ecology. National Research Council of Canada, Ottawa, Ont. Part 2.
- McCormick, S.D., R.J. Naiman et E.T. Montgomery. 1985. Physiological smolt characteristics of anadromous and non-anadromous brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42 : 529-538.
- McLaren, I.A. 1958. The biology of the ringed seal (*Phoca hispida* Schreber) in the eastern Canadian Arctic. Bull. Fish. Res. Board Can. 118 : 97 p.
- McLaren, I.A. 1961. Methods for determining the numbers and availability of ringed seals in the eastern Canadian Arctic. Arctic, 14 : 162-175.
- Messier, D., R.G. Ingram et D. Roy. 1986. Physical and biological modifications in response to La Grande hydroelectric project, p. 403-424. Dans I.P. Martini (éd.). Canadian Inland Seas. Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Amsterdam.



- Messier, D., S. Lepage et S. De Margerie. 1989. Influence du couvert de glace sur l'étendue du panache de la Grande Rivière (baie James). *Arctic*, 42 : 278-284.
- Michel, C., L. Legendre, S. Demers et J.-C. Therriault. 1988. Photoadaptation of sea-ice microalgae in springtime : photosynthesis and carboxylating enzymes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 50 : 177-185.
- Michel, C., L. Legendre, J.-C. Therriault et S. Demers. 1989. Photosynthetic responses of Arctic sea-ice microalgae to short-term temperature acclimation. *Polar Biol.* 9 : 437-442.
- Michel, C., L. Legendre, J.-C. Therriault, S. Demers et T. Vandeveld. 1993. Springtime coupling between ice algal and phytoplankton assemblages in southeastern Hudson Bay, Canadian Arctic. *Polar Biol.* 13 : 441-449.
- Monti, D., L. Legendre, J.-C. Therriault et S. Demers. 1996. Horizontal distribution of sea-ice microalgae: environmental control and spatial processes (southeastern Hudson Bay, Canada). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 133 : 229-240.
- Morin, B., C. Hudon et F. Whoriskey. 1991. Seasonal distribution, abundance and life history traits of Greenland cod (*Gadus ogac*) at Wemindji, eastern James Bay. *Can. J. Zool.* 69 : 3061-3070.
- Morin, R. 1991. Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the lower Nastapoka River, Quebec : distribution and origins of salmon in eastern Hudson Bay. *Can. J. Zool.* 69 : 1674-1681.
- Morin, R. et J.J. Dodson. 1986. The ecology of fishes in James Bay, Hudson Bay and Hudson Strait, p. 293-325. Dans I.P. Martini (éd.). *Canadian Inland Seas*. Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Amsterdam.
- Morin, R., J.J. Dodson et G. Power. 1980. Estuarine fish communities of the eastern James-Hudson Bay coast. *Env. Biol. Fish.* 5 : 135-141.
- Morin, R., J.J. Dodson et G. Power. 1981. The migrations of anadromous cisco (*Coregonus artedii*) and lake whitefish (*C. clupeaformis*) in estuaries of eastern James Bay. *Can. J. Zool.* 59 : 1600-1607.
- Morin, R., J.J. Dodson et G. Power. 1982. Life history variations of anadromous cisco (*Coregonus artedii*), lake whitefish (*C. clupeaformis*), and round whitefish (*Prosopium cylindraceum*) populations of eastern James-Hudson Bay. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39 : 958-967.
- Morrison, R.I.G. et A.J. Gaston. 1986. Marine and coastal birds of James Bay, Hudson Bay and Foxe Basin, p. 355-386. Dans I.P. Martini (éd.). *Canadian Inland Seas*. Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Amsterdam.

- Murty, T.S. 1972. Circulation in James Bay. Can. Dept. Env., Mar. Sci. Branch, MS Rep. 24 : 143-193.
- Myers, R.A., Akenhead, S.A. et K. Drinkwater. 1990. The influence of Hudson Bay runoff and ice-melt on the salinity of the inner Newfoundland shelf. Atmos.-Ocean, 28 : 241-256.
- Newbury, R.W., G.K. McCullough et R.E. Hecky. 1984. The southern Indian Lake impoundment and Churchill River diversion. Can J. Fish. Aquat. Sci. 41 : 548-557.
- Norcross, B.L. et R.F. Shaw. 1984. Oceanic and estuarine transport of fish eggs and larvae : A review. Trans. Amer. Fish. Soc. 113 : 153-165.
- Norris, A.W. 1986. Review of Hudson platform paleozoic stratigraphy and biostratigraphy, p. 17-42. Dans I.P. Martini (éd.). Canadian Inland Seas. Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Amsterdam.
- Ochman, S. et J.J. Dodson. 1982. Composition and structure of the larval and juvenile fish community of the Eastmain River and Estuary, James Bay. Naturaliste can. 109 : 803-813.
- Ontario Hydro. 1989. The hydraulic plan. Ontario Hydro, Toronto, December 1989, 60 p.
- Ouellet, Y., J. Llamas et J.-C. Rassam. 1982. Analyse des fluctuations du niveau d'eau dans le détroit de Manitousuk à l'est de la baie d'Hudson. Naturaliste can. 109 : 719-731.
- Parent, S. et P. Brunel. 1976. Aires et périodes de fraye du capelan (*Mallotus villosus*) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Trav. Pêch. Qué. 45 : 1-46.
- Pelletier, B.R. 1986. Seafloor morphology and sediments, p. 143-162. Dans I.P. Martini (éd.). Canadian Inland Seas. Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Amsterdam.
- Penn, A. 1992. Le développement hydroélectrique du sud de la baie d'Hudson et la question du mercure, p. 40-44. Les contaminants dans l'environnement marin du Nunavik. Actes du colloque, Montréal, 12 au 14 septembre 1990. Centre d'études nordiques, Collection Nordicana n° 56.
- Percy, J.A. 1990. Geography and Bathymetry, p. 72-77. Dans J.A. Percy (éd.). Proceedings of a workshop : Marine Ecosystem Studies in Hudson Strait. November 9-10, 1989, Montreal, Quebec. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1770.
- Pett, R.J. 1980. Biological oceanography of Chesterfield Inlet, N.W.T., Summer 1978 - Nutrients and seston. Thèse de doctorat, Université de Guelph, Ont., 158 p.
- Pett, R.J. et J.C. Roff. 1982. Some observations and deductions concerning the deep waters of Hudson Bay. Naturaliste can. 109 : 767-774.

- Ponton, D. et L. Fortier. 1992. Vertical distribution and foraging of marine fish larvae under the ice cover of southeastern Hudson Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 81 : 215-227.
- Ponton, D., J.A. Gagné et L. Fortier. 1993. Production and dispersion of freshwater, anadromous, and marine fish larvae in and around a river plume in subarctic Hudson Bay, Canada. *Polar Biol.* 13 : 321-331.
- Poulin, M. et A. Cardinal. 1982a. Sea ice diatoms from Manitounuk Sound, southeastern Hudson Bay (Québec, Canada). I. Family Naviculaceae. *Can. J. Bot.* 60 : 1263-1278.
- Poulin, M. et A. Cardinal. 1982b. Sea ice diatoms from Manitounuk Sound, southeastern Hudson Bay (Québec, Canada). II. Naviculaceae, genus *Navicula*. *Can. J. Bot.* 60 : 2825-2845.
- Poulin, M. et A. Cardinal. 1983. Sea ice diatoms from Manitounuk Sound, southeastern Hudson Bay (Québec, Canada). III. Cymbellaceae, Entomoneidaceae, Gomphonemataceae, and Nitzschiaceae. *Can. J. Bot.* 61 : 107-118.
- Poulin, M. A. Cardinal, et L. Legendre. 1983. Réponse d'une communauté de diatomées de glace à un gradient de salinité (baie d'Hudson). *Mar. Biol.* 76 : 191-202.
- Powell, N.A. 1968. Bryozoa (Polyzoa) of Arctic Canada. *J. Fish. Res. Board Can.* 25 : 2269-2330.
- Power, G. 1980. The brook charr, *Salvelinus fontinalis*, p. 141-203. Dans E.K. Balon (éd.). *Charrs : salmonid fishes of the genus Salvelinus*. Dr. W. Junk, The Hague, The Netherlands.
- Power, G. et F. Auger. 1978. Complément des études ichthyologiques de l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine, du détroit de Manitounuk, et de l'estuaire de la Petite rivière de la Baleine. GIROQ, projet Grande Baleine, études océanographiques dans la baie d'Hudson. Mandat d'avant-projet préliminaire Hydro-Québec/OGB 76-1.
- Power, G. et J. Grégoire. 1978. Predation by freshwater seals on the fish community of lower Seal Lake, Québec. *Fish. Res. Board Can.* 35 : 844-850.
- Power, G., M.V. Power, R. Dumas et A. Gordon, 1987. Marine migrations of Atlantic salmon from rivers in Ungava Bay, Québec, p. 364-376. Dans M.J. Dadswell, R.J. Klauda, C.M. Moffitt, R.L. Saunders, R.A. Rulifson et J.E. Cooper (éds). *Common strategies of anadromous and catadromous fishes : Proceedings of the first international symposium of the American Fisheries Society, March 9-13, 1986, Boston, MA.* American Fisheries Society, Bethesda, MD, USA.
- Prinsenbergh, S.J. 1977. Fresh water budget of Hudson Bay. *Fish. and Env. Can., Ms. Rep. Ser.* 5, 71 p.
- Prinsenbergh, S.J. 1980. Man-made changes in the freshwater input rates of Hudson and James bays. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37 : 1101-1110.

- Prinsenbergh, S.J. 1982a. Time variability of physical oceanographic parameters in Hudson Bay. *Naturaliste can.* 109 : 685-700.
- Prinsenbergh, S.J. 1982b. Present and future circulation and salinity in James Bay. *Naturaliste can.* 109 : 827-841.
- Prinsenbergh, S.J. 1983. Effects of the hydroelectric developments on the oceanographic surface parameters of Hudson Bay. *Atmos.-Ocean*, 21 : 418-430.
- Prinsenbergh, S.J. 1984. Freshwater contents and heat budgets of James Bay and Hudson Bay. *Cont. Shelf Res.* 3 : 191-200.
- Prinsenbergh, S.J. 1986a. The circulation pattern and current structure of Hudson Bay, p. 187-216. Dans I.P. Martini (éd.). *Canadian Inland Seas*. Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Amsterdam.
- Prinsenbergh, S.J. 1986b. Salinity and temperature distribution of Hudson Bay and James Bay, p. 163-186. Dans I.P. Martini (éd.). *Canadian Inland Seas*. Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Amsterdam.
- Prinsenbergh, S.J. 1988. Ice-cover and ice-ridge contributions to the freshwater contents of Hudson Bay and Foxe Basin. *Arctic*, 41 : 6-11.
- Prinsenbergh, S. 1991. Effects of hydroelectric projects on Hudson Bay's marine and ice environments. *James Bay Publication Series No. 2*, 7 p.
- Prinsenbergh, S.J. et N.G. Freeman. 1986. Tidal heights and currents in Hudson Bay and James Bay, p. 205-216. Dans I.P. Martini (éd.). *Canadian Inland Seas*. Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Amsterdam.
- Ramsey, D.J. 1990. Experimental studies of mercury dynamics in the Churchill River diversion, Manitoba, p. 147-173. Dans C.E. Delisle et M.A. Bouchard (éds). *Managing the effects of hydroelectric development*. Can. Soc. Environ. Biol., Montreal.
- Reeves, R.R. et E. Mitchell. 1987. History of white whale (*Delphinapterus leucas*) exploitation in eastern Hudson Bay and James Bay. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 95, 45 p.
- Reynaud, T., R.G. Ingram, H.J. Freeland et A.J. Weaver. 1992. Propagation of coastal-trapped waves under an ice cover in Hudson Bay. *Atmos.-Ocean*, 30 : 593-620.
- Richard, P.R., J.R. Orr et D.G. Barber. 1990. The distribution and abundance of beluga, *Delphinapterus leucas*, in eastern Canadian subarctic waters : A review and update, p. 23-38. Dans T.G. Smith, D.J. St. Aubin et J.R. Geraci (éds). *Advances in research on the beluga whale, Delphinapterus leucas*. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 224.

- Robineau, B., L. Legendre, J.-C. Therriault, L. Fortier, G. Rosenberg et S. Demers. 1994. Ultra-algae (<5  $\mu\text{m}$ ) in the ice, at the ice-water interface and in the under-ice water column (southeastern Hudson Bay, Canada). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 115 : 169-180.
- Roche Ltée. 1982. Études océanographiques de la côte est de la baie James. Tome III. La végétation littorale. Rapport présenté à la SEBJ (Société d'Énergie de la baie James), Montréal, 105 p.
- Rochet, M. et E.H. Grainger. 1988. Community structure of zooplankton in eastern Hudson Bay. *Can. J. Zool.* 66 : 1626-1630.
- Rochet, M., L. Legendre et S. Demers. 1985. Acclimation of sea-ice microalgae to freezing temperature. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 24 : 187-191.
- Rochet, M., L. Legendre et S. Demers. 1986. Photosynthetic and pigment responses of sea-ice microalgae to changes in light intensity and quality. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 101 : 211-226.
- Roff, J.C. et L. Legendre. 1986. Physico-chemical and biological oceanography of Hudson Bay, p. 265-291. Dans I.P. Martini (éd.). *Canadian Inland Seas*. Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Amsterdam.
- Roff, J.C., R.J. Pett, G.F. Rogers et W.P. Budgell. 1980. A study of plankton ecology in Chesterfield Inlet, Northwest Territories : an arctic estuary, p. 185-197. Dans V. Kennedy (éd.). *Estuarine Perspectives*. Academic Press, New York.
- Rogers, G.F. 1981. Biological oceanography of Chesterfield Inlet, N.W.T., summer 1978 - Phytoplankton and zooplankton. Thèse de doctorat, Université de Guelph, Ont., 185 p.
- Roy, D. 1982. Répercussions de la coupure de la Grande Rivière à l'aval de LG 2. *Naturaliste can.* 109 : 883-891.
- Roy, D. 1989. Physical and biological factors affecting the distribution and abundance of fishes in rivers flowing into James Bay and Hudson Bay, p. 159-171. Dans D.P. Dodge (éd.). *Proceedings of the International Large River Symposium*. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 106.
- Runge, J.A. et R.G. Ingram. 1988. Under-ice grazing by planktonic, calanoid copepods in relation to a bloom of ice microalgae in southeastern Hudson Bay. *Limnol. Oceanogr.* 33 : 280-286.
- Runge, J.A. et R.G. Ingram. 1991. Under-ice feeding and diel migration by the planktonic copepods *Calanus glacialis* and *Pseudocalanus minutus* in relation to the ice algal production cycle in southeastern Hudson Bay, Canada. *Mar. Biol.* 108 : 217-225.

- Runge, J.A., J.-C. Therriault, L. Legendre, R.G. Ingram et S. Demers. 1991. Coupling between ice microalgal productivity and the pelagic, metazoan food web in southeastern Hudson Bay : a synthesis of results. *Polar Res.* 10 : 325-338.
- Sale, M.J. 1985. Aquatic ecosystem response to flow modification : an overview of the issues, p. 25-31. Dans F.W. Olson, R.G. White et R.H. Hamre (éds.). *Proceedings of the symposium on small hydropower and fisheries.* The American Fisheries Society, Bethesda, MD, USA.
- Salonius, P.O. 1973. Barriers to range extension of Atlantic and Pacific salmon in Arctic North America. *Arctic*, 26 : 112-122.
- Saucier, F.J. et J. Dionne. 1996. A 3D coupled ice-ocean model applied to Hudson Bay, Canada : the seasonal cycle and time-dependent climate response to atmospheric forcing and runoff. *J. Geophys. Res.* (Sous presse).
- Seaman, G.A. et J.J. Burns. 1981. Preliminary results of recent studies of belukhas in Alaskan waters. *Rep. Int. Whal. Comm.* 31 : 567-574.
- SEBJ. 1979. Complexe La Grande. Bibliothèque Nationale du Québec, 4<sup>ème</sup> trimestre 1979, 56 p.
- Sergeant, D.E. 1973. Biology of white whales (*Delphinapterus leucas*) in western Hudson Bay. *J. Fish. Res. Board Can.* 30 : 1065-1090.
- Sergeant, D.E. 1986. Sea mammals, p. 327-340. Dans I.P. Martini (éd.) *Canadian Inland Seas.* Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Amsterdam.
- Shilts, W.W. 1986. Glaciation of the Hudson Bay region, p. 55-78. Dans I.P. Martini, (éd.). *Canadian Inland Seas.* Elsevier Oceanography Series, Elsevier, Amsterdam.
- Shirasawa, K. et R.G. Ingram. 1988a. Under-ice characteristics of the Great Whale River plume in Hudson Bay, p. 84-87. *Proc. Intl. Symp. Okhotsk Sea and sea ice, Mombetsu, Japan.*
- Shirasawa, K. et R.G. Ingram. 1988b. Oceanic boundary layer measurements under landfast ice, p. 789-796. Dans Y. Iwasa, N. Tamaiand et A. Wada (éds). *Proc. Third Intl. Symp. on reduced flow modelling and turbulence measurements, Tokyo, July 1988.*
- Shirasawa, K., R.G. Ingram et M. Aota. 1988. Measurements in the boundary layer under landfast ice in southeast Hudson Bay. *Low Temp. Sci.* A47 : 213-221.
- Smith, T.G. 1973. Population dynamics of the ringed seal in the Canadian eastern Arctic. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 181, 55 p.

- Smith, T.G. 1975a. Ringed seals in James Bay and Hudson Bay : population estimates and catch statistics. *Arctic*, 28 : 170-182.
- Smith, T.G. 1975b. Parameters and dynamics of ringed seal populations in the Canadian eastern Arctic. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer* 169 : 281-295.
- Smith, T.G. 1987. The ringed seal, *Phoca hispida*, of the Canadian western Arctic. *Can. Bull. Fish. Aquat. Sci.* 216. 81 p.
- Smith, T.G. et M.O. Hammill. 1981. Ecology of the ringed seal (*Phoca hispida*) in its fast ice breeding habitat. *Can. J. Zool.* 59 : 966-981.
- Smith, T.G. et M.O. Hammill. 1986. Population estimates of white whales, *Delphinapterus leucas*, in James Bay, eastern Hudson Bay, and Ungava Bay. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43 : 1982-1987.
- Smith, T.G. et G. Horonowitsch. 1987. Harbour seals in the Lacs des Loups Marins and eastern Hudson Bay drainage. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1536 : iv + 17 p.
- Smith, T.G. et I. Stirling. 1975. The breeding habitat of the ringed seal (*Phoca hispida*). The birth lair and associated structures. *Can. J. Zool.* 53 : 1297-1305.
- Smith, T.G., M.O. Hammill et G. Taugbøl. 1991. A review of the developmental, behavioural and physiological adaptations of the ringed seal, *Phoca hispida*, to life in the Arctic winter. *Arctic*, 44 : 124-131.
- Smith, T.G., D.J. St.Aubin et M.O. Hammill. 1992. Rubbing behaviour of belugas, *Delphinapterus leucas*, in a high Arctic estuary. *Can. J. Zool.* 70 : 2405-2409.
- Squires, H.J. 1967. Decapod crustacea from Calanus collections in Hudson Bay in 1953, 1954, and 1958-61. *J. Fish. Res. Board Can.* 24 : 1873-1903.
- St. Aubin, D.J., T.G. Smith et J.R. Geraci. 1990. Seasonal epidermal molt in beluga whales, *Delphinapterus leucas*. *Can. J. Zool.* 68 : 359-367.
- Sutcliffe, W.H. Jr., R.H. Loucks, K.F. Drinkwater et A.R. Coote. 1983. Nutrient flux onto the Labrador Shelf from Hudson Strait and its biological consequences. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40 : 1692-1701.
- Talbot, J. 1977. Inventaire ichtyologique sommaire du détroit de Manitousuk et de l'estuaire du fleuve Grande-rivière-de-la-Baleine. *Projet Grande Baleine, Études Océanographiques dans la baie d'Hudson, Mandat d'avant-projet préliminaire Hydro-Québec OGB 76-1.*
- Therriault, J.-C., S. Demers, L. Legendre, R.G. Ingram et J.A. Runge. 1989. Physical control of biological production at the seasonal sea-ice/water interface and in the underlying water column in Hudson Bay, Canada. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer*, 188 : 123.

- Thomas, V.G. et J.P. Prevet. 1982. The roles of the James and Hudson Bay lowland in the annual cycle of geese. *Naturaliste can.* 109 : 913-925.
- Tourangeau, S. et J.A. Runge. 1991. Reproduction of *Calanus glacialis* under ice in spring in southeastern Hudson Bay, Canada. *Mar. Biol.* 108 : 227-233.
- Tremblay, C., J.A. Runge et L. Legendre. 1989. Grazing and sedimentation of ice algae during and immediately after a bloom at the ice-water interface. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 56 : 291-300.
- Trihey, E.W. et J.E. Baldrige. 1985. An empirical approach for evaluating microhabitat response to streamflow in steep-gradient, large bed-element streams, p. 215-222. Dans F.W. Olson, R.G. White et R.G. Hamre (éds.). *Proceedings of the symposium on small hydro-power and fisheries*. The American Fisheries Society, Bethesda, MD, USA.
- Verdun, R. 1990. Suivi du mercure dans le poisson au complexe La Grande, Territoire de la Baie James, p. 69-91. Dans C.E. Delisle et M.A. Bouchard (éds.). *Managing the effects of hydroelectric development*. Can. Soc. Environ. Biol., Montreal.
- Vladykov, V.D. 1933. Biological and oceanographic conditions in Hudson Bay. Fishes from the Hudson Bay region (except the Coregonidae). *Contr. Can. Biol. Fish.* 8 : 13-61.
- Wacasey, J.W., E.G. Atkinson et L. Kinlough. 1976. Zoobenthos data from James Bay, 1959, 1974. *Can. Fish. Mar. Serv. Res. Dev. Tech. Rep.* 661, 62 p.
- Wang, J., L.A. Mysak et R.G. Ingram. 1994a. A three-dimensional numerical simulation of Hudson Bay summer ocean circulation : topographic gyres, separations, and coastal jets. *J. Phys. Oceanogr.* 24 : 2496-2514.
- Wang, J., L.A. Mysak et R.G. Ingram. 1994b. A numerical simulation of sea ice cover in Hudson Bay. *J. Phys. Oceanogr.* 24 : 2515-2533.
- Wang, J., L.A. Mysak et R.G. Ingram. 1994c. Interannual variability of sea ice cover in the Hudson Bay-Baffin Bay-Labrador Sea region. *Atmos.-Ocean*, 32 : 421-447.
- Welch, H.E. 1990. Primary production, p. 98-101. Dans J.A. Percy (éd.). *Proceedings of a workshop : Marine Ecosystem Studies in Hudson Strait*. November 9-10, 1989, Montreal, Quebec. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1770.
- Welch, H.E. et M.A. Bergmann. 1989. Seasonal development of ice algae and its prediction from environmental factors near Resolute, N.W.T., Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46 : 1793-1804.



**Annexe I. Équipe de travail et composition du Groupe de travail du secteur des Sciences sur le projet Grande Baleine.**

<b>Préparation et Édition du rapport</b>	Michel Gilbert (Institut Maurice-Lamontagne) Daniel Gauthier (Laval, Québec)
<b>Groupe de travail du secteur des Sciences sur le projet Grande Baleine (formé en 1990)</b>	Jacques A. Gagné (Institut Maurice-Lamontagne) Daniel Gauthier (Laval, Québec) <sup>1</sup> Yves Gratton (INRS – Océanologie, Rimouski) <sup>1</sup> Pierre Larouche (Institut Maurice-Lamontagne) Roderick Morin (Centre des pêches du Golfe, Moncton) <sup>2</sup> Jonathan A. Percy (Granville Ferry, Nouvelle-Écosse) <sup>1,2</sup> Thomas G. Smith (Garthby, Québec) <sup>1,2</sup> Gilles H. Tremblay (Institut Maurice-Lamontagne) Gordon Walsh (Institut Maurice-Lamontagne)
<b>Autre contributeur</b>	Bernard Morin (Institut Maurice-Lamontagne)

<sup>1</sup> Anciens employés du ministère des Pêches et des Océans.

<sup>2</sup> Autrefois de la Station de biologie arctique de Sainte-Anne-de-Bellevue.

## **Annexe II. Description du milieu biophysique des baies James et d'Hudson.**

### **1. Introduction**

Les baies James et d'Hudson réunies couvrent une superficie totale d'environ 1 300 000 km<sup>2</sup> et constituent ainsi une des plus grandes mers intérieures du monde. Toutefois, elles n'ont été étudiées que de façon sporadique et, en général, localement. Néanmoins, plusieurs études ont permis de rassembler de l'information diversifiée qu'il est essentiel de synthétiser ici en un bilan des connaissances actuelles. L'accent est mis sur une vision globale de la région. Certains aspects du détroit d'Hudson et du sud-est de la baie d'Hudson sont également abordés.

### **2. Description du milieu physique**

Les baies James et d'Hudson occupent une dépression dans la partie centrale du Bouclier canadien (Donaldson 1986, Figure II-1). Cette mer intérieure communique avec la mer du Labrador par le détroit d'Hudson et avec les eaux arctiques du Canada par les détroits de Fury et de Hecla. Toutefois, la présence de seuils entre la baie d'Hudson et ces régions a des répercussions sur les échanges d'eaux (Prinsenbergh 1986a). Les deux baies sont peu profondes; les profondeurs maximales sont de 60 m dans la baie James et de 250 m dans la baie d'Hudson (Pelletier 1986, Figure II-2a). La profondeur augmente progressivement jusqu'à plus de 900 mètres dans le détroit d'Hudson (Percy 1990).

Les côtes des deux baies occupent leur position actuelle depuis la dernière glaciation, soit 8 000 ans av. J.-C. (Dionne 1980). Elles sont rocheuses et accidentées du côté est, tandis que la côte ouest est dominée par des zones marécageuses et des plages de sable (Martini 1986). Les côtes du détroit d'Hudson sont rocheuses, très accidentées, avec de nombreuses montagnes et falaises dénudées (Percy 1990). Le fond des baies est dominé par des roches cristallines précambriennes et des roches sédimentaires paléozoïques et protérozoïques (Donaldson 1986; Norris 1986). De plus, ces roches sont recouvertes par plusieurs couches de sédiments de vase fine dans la partie centrale des baies et d'un mélange sable-gravier près des côtes, résultant du passage des glaciers, des dépôts de la mer de Tyrrel et des rivières (Kranck et Ruffman 1982; Shilts 1986).

Le climat de la baie James et de la baie d'Hudson est rigoureux. Les températures moyennes de janvier sont de - 30 °C pour le nord de la baie et du détroit d'Hudson et de - 20 °C pour le sud de la baie James (Maxwell 1986). En juillet, ces moyennes sont respectivement de 7,5 et de 15 °C. Le pergélisol se retrouve à certains endroits sur la côte est de la baie d'Hudson, alors qu'il est omniprésent au nord de la baie d'Hudson et dans le détroit d'Hudson. Les vents dominants sont du nord-ouest pendant l'hiver, tandis qu'en été il n'y a pas de direction dominante (Maxwell 1986). Sur l'ensemble de la région, les précipitations sont plus abondantes pendant l'été, soit une moyenne de 400 mm à Kuujjuarapik/Whapmagoostui, et elles augmentent du nord vers le sud (Maxwell 1986).

L'océanographie physique de la région dépend principalement des apports d'eau douce, des courants marins, de la couverture de glace, du flux de radiation solaire et des vents (Prinsenbergh

1986a). Prinsenbergh (1988) a estimé l'apport annuel d'eau douce dans la baie James et la baie d'Hudson à  $21 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  provenant d'un bassin hydrographique total de  $3,1 \times 10^6 \text{ km}^2$ . En outre, la fonte de la couche de glace au printemps contribue deux fois plus à l'apport d'eau douce que le déversement des rivières et le ruissellement (Prinsenbergh 1988).

En été, le courant général de surface observé dans la baie d'Hudson et dans la baie James est cyclonique et faible, soit environ  $5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  (Prinsenbergh 1986a, Figure II-2b). Une masse d'eau froide ( $< 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) et salée ( $> 30 \text{ ‰}$ ) entre par le nord-ouest de la baie d'Hudson tandis qu'une masse d'eau plus chaude ( $> 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) et moins salée ( $< 30 \text{ ‰}$ ) sort du côté est vers le détroit d'Hudson (Figure II-2b). Globalement, il a été montré qu'au-dessus de la pycnocline située à environ 20 m, les températures sont de  $5^\circ$  à  $8^\circ\text{C}$  et les salinités varient de moins de 10 ‰ dans le panache des rivières principales à 30 ‰ dans les parties centrales et nord de la baie d'Hudson. Sous la pycnocline, les masses d'eau sont généralement plus froides et plus salées. Les échanges verticaux pendant l'été sont très limités à cause de la forte stratification (Roff et Legendre 1986). Dans le détroit d'Hudson, le courant résiduel est dominé par un courant côtier intense qui se dirige le long de la côte du Québec vers la mer du Labrador (Drinkwater 1986). Les vents influencent également les patrons de circulation observés au printemps dans le sud-est de la baie d'Hudson (Larouche et Dubois 1990). La marée est semi-diurne, se propageant de façon cyclonique autour de la baie avec une amplitude maximale d'environ 2 m du côté ouest de la baie d'Hudson. L'amplitude de la marée est plus faible, environ 1 m, dans le sud-est de la baie d'Hudson et dans la baie James. On note aussi la présence de deux points amphidromiques pour la composante  $M_2$  de la marée dans la baie d'Hudson (Prinsenbergh et Freeman 1986). Dans le détroit d'Hudson, la marée est beaucoup plus importante, atteignant 5 m par endroits (Drinkwater 1986).

La formation du couvert de glace commence en octobre dans les zones côtières du nord-ouest de la baie et du détroit d'Hudson. Le couvert de glace progresse vers le sud-est de la baie d'Hudson puis dans la baie James (Markham 1986) de telle sorte qu'elles sont complètement couvertes au début de janvier (Danielson 1971). Cette glace est non consolidée à la grandeur du territoire sauf le long des côtes où elle forme des banquises solides. La région du sud-est de la baie d'Hudson fait exception à cette règle, étant caractérisée par une grande banquise côtière solide due principalement à la présence de plusieurs îles et des vents forts du sud-ouest (Larouche et Galbraith 1989). L'épaisseur maximale de la glace est de 1 m au sud de la baie James et atteint 1,75 m au nord de la baie d'Hudson et dans le détroit d'Hudson (Prinsenbergh 1988). Le dégel et la débâcle débutent en mai. En août, il n'y a plus de glace dans toute la région (Markham 1986), à l'exception de rares icebergs et de banquises de glace provenant du bassin de Foxe et qui dérivent dans le détroit d'Hudson (Percy 1990).

La Grande rivière de la Baleine et la Petite rivière de la Baleine, dont les débits seront réorientés advenant la réalisation du projet Grande Baleine, se déversent dans le sud-est de la baie d'Hudson et leurs bassins versants couvrent des superficies respectives de  $42,2 \times 10^3$  et  $16,7 \times 10^3 \text{ km}^2$  (Prinsenbergh 1977). Le détroit de Manitounuk, vers lequel la réorientation des débits est prévue dans la région côtière, s'étend sur 60 km de longueur par environ 3 km de largeur en moyenne et sa profondeur varie de 90 m à l'entrée jusqu'à 5-10 m à son extrémité. Dans la région côtière, les profondeurs augmentent rapidement jusqu'à plus de 50 m à environ 4 km au large de l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine (Figure II-3). Toutefois, il faut noter la

présence de haut-fonds (< 20 m) à 10 km vers le nord-ouest. La Grande rivière de la Baleine possède un débit annuel moyen de  $665 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Prinsenbergh 1977), entraînant la formation d'un panache d'eau douce de 3 à 5 m d'épaisseur dont la superficie est d'environ 1 000 km<sup>2</sup> sous couvert de glace, soit dix fois plus élevée qu'en eau libre (Ingram 1981; Ingram et Larouche 1987a; Lepage et Ingram 1991). La configuration du panache dans la région côtière dépend essentiellement du débit de la rivière, de la circulation côtière et des régimes de vent en eau libre (Ingram 1981; Ingram et Larouche 1987a; Lepage et Ingram 1991). Dans la région côtière, la circulation est principalement contrôlée par les gradients de pression atmosphérique dans la baie d'Hudson (Ingram et Larouche 1987a; Reynaud *et al.* 1992).

### 3. Description du milieu chimique

L'océanographie chimique des baies James et d'Hudson a été peu documentée jusqu'à maintenant. Les éléments nutritifs tels que les phosphates, les nitrates et les silicates sont en faible concentration sur toute l'étendue de la baie d'Hudson et plus particulièrement au centre de celle-ci (Legendre et Simard 1979; Roff et Legendre 1986). Au printemps cependant, de fortes concentrations de sels nutritifs ont été mesurées à l'interface glace-eau (Demers *et al.* 1989). Puisque l'apport des rivières y est minime (Roff et Legendre 1986), l'approvisionnement en éléments nutritifs de cette couche d'eau est possible lors de périodes de mélange causées par les marées semi-mensuelles (Gosselin *et al.* 1985). Anderson et Roff (1980a) ont aussi observé un gradient décroissant de la côte vers le large pour l'adénosine tri-phosphate (ATP), la chlorophylle *a*, de même que le carbone et l'azote particulaires. Il faut noter que le détroit d'Hudson est considéré comme une «pompe» à nutriments où le mélange des masses d'eaux est important, ce qui favoriserait la productivité dans la mer du Labrador (Sutcliffe *et al.* 1983; Welch 1990).

### 4. Description du milieu biologique

La faible productivité primaire de la baie d'Hudson est une affirmation souvent rencontrée dans la littérature (Grainger 1968; Dunbar 1970; Legendre et Simard 1979), et que l'on explique principalement par les échanges verticaux incomplets et les faibles taux de régénération des sels nutritifs (Pett et Roff 1982). Cependant, 583 taxons d'algues planctoniques et épibenthiques ont été identifiés dans la baie d'Hudson (Roff et Legendre 1986), ce qui montre la diversité phyto-planctonique de cette région. De plus, les régions côtières tel le sud-est et le nord-est de la baie d'Hudson ont une productivité primaire plus importante (Roff et Legendre 1986) et où la microflore des glaces constitue une composante importante au printemps (Gosselin *et al.* 1985; Welch et Bergmann, 1989). Le développement de ces communautés commence tôt au printemps, au moment où l'accroissement de l'intensité lumineuse cause la fonte de la glace à la base de la banquise saisonnière, ce qui produit une microcouche stable où les algues peuvent croître et s'accumuler (Therriault *et al.* 1989). La poussée phytoplanctonique estivale dans le sud-est de la baie d'Hudson commence sous la glace et est vraisemblablement favorisée par l'apport d'algues des glaces qui sédimentent au printemps (Legendre *et al.* 1981; Tremblay *et al.* 1989; Michel *et al.* 1993). Roff et Legendre (1986) y ont estimé la production primaire phytoplanctonique annuelle à  $35 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ .

En tout, 77 espèces d'algues benthiques ont été identifiées dans les zones côtières des baies James et d'Hudson; l'espèce la plus abondante est *Fucus distichus* (Breton-Provencher et Cardinal

1978). La plante aquatique *Zostera marina* est également très abondante au sud-est de la baie d'Hudson et dans la baie James (Roche Ltée 1982). Une augmentation parallèle du nombre d'espèces avec le gradient de salinité croissant du sud au nord a été observée dans les baies James et d'Hudson (Breton-Provencher et Cardinal 1978).

Les études portant sur le zooplancton ont permis d'identifier 57 espèces, excluant les protozoaires (Roff et Legendre 1986). Cette faune est typique des eaux arctiques en général (Grainger 1968). Comme pour le phytoplancton, la production secondaire est moins importante au large que près des côtes (Roff et Legendre 1986). Les espèces de copépodes du genre *Pseudocalanus* spp. sont dominantes dans les eaux côtières tandis que le genre *Calanus* spp. est plus abondant au large, dans les masses d'eau d'origine arctique (Rochet et Grainger 1988). La microflore des glaces prolonge la période de nutrition et de reproduction du zooplancton puisqu'elle se développe avant le bloom phytoplanctonique dans la colonne d'eau (Runge et Ingram 1988; Tourangeau et Runge 1991).

La dynamique des stades larvaires de poisson a également été étudiée dans le sud-est de la baie d'Hudson, particulièrement au printemps, au moment où la morue arctique (*Boreogadus saida*) et le lançon (*Ammodytes* sp.) dominent la communauté ichtyoplanctonique présente sous le couvert de glace saisonnier (Drolet 1990; Drolet *et al.* 1991; Gilbert 1991; Gilbert *et al.* 1992; Ponton et Fortier 1992; Ponton *et al.* 1993). L'alimentation des larves de ces deux espèces dépend essentiellement : 1) de l'abondance de leur ressource, laquelle est reliée à l'abondance locale des copépodes cyclopoïdes en phase de maturation (Drolet *et al.* 1991; Fortier *et al.* 1995); et 2) des conditions de lumière dans la colonne d'eau, lesquelles sont influencées par la dynamique du couvert de glace saisonnier et du panache de la Grande rivière de la Baleine (Gilbert *et al.* 1992; Ponton et Fortier 1992; Fortier *et al.* 1996). Les larves des autres espèces marines présentes au printemps dans le sud-est de la baie d'Hudson n'apparaissent qu'au moment de la débâcle dans la baie (Ponton *et al.* 1993), incluant la stichée arctique (*Stichaeus punctatus*), la lompenie élanée (*Lumpenus fabricii*) et plusieurs espèces de la famille des cottidae. Enfin, les larves de capelan (*Mallotus villosus*) et de morue du Groenland (*Gadus ogac*) semblent apparaître plus tard en été dans cette région (Talbot 1977; Power et Auger 1978, Ponton *et al.* 1993).

Les quelques informations disponibles sur les organismes benthiques ont été principalement recueillies dans la baie James (Grainger 1968; Grenon 1982). Grainger (1968) a pu identifier 210 espèces; l'espèce dominante dans la baie James est *Macoma balthica* (Grenon 1982). Il n'existe pas de données sur la production zoobenthique.

La diversité spécifique des poissons est plus élevée dans le détroit d'Hudson que dans la baie d'Hudson et la baie James; on y a relevé respectivement 51, 34 et 22 espèces différentes (Morin et Dodson 1986). Cependant, les poissons d'eau douce sont plus abondants dans la baie James que dans les autres régions avec 34 espèces comparativement à 26 et 15 espèces respectivement dans la baie et le détroit d'Hudson. Une caractéristique importante de cette région est l'utilisation des eaux saumâtres et côtières pendant l'été par plusieurs espèces de poissons marins, anadromes et d'eau douce. Les poissons marins incluent la morue du Groenland (*Gadus ogac*) et le chaboisseau à quatre cornes (*Myoxocephalus quadricornis*); les poissons anadromes comprennent le cisco (*Coregonus artedii*) et le grand corégone (*Coregonus clupeaformis*); et les

poissons d'eau douce comptent l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*), le meunier rouge (*Catostomus catostomus*), ainsi que le doré jaune (*Stizostedion vitreum*) (Lambert et Dodson 1982; Morin *et al.* 1982; Kemp *et al.* 1989; Morin *et al.* 1991). Dans le sud-est de la baie d'Hudson, la morue du Groenland et le chaboisseau à quatre cornes sont les espèces les plus abondantes (Power et Auger 1978). Il faut également noter la présence dans la rivière Nastapoka de la seule population de saumon atlantique (*Salmo salar*) de la région (Morin 1991).

Onze espèces de mammifères marins ont été observées dans les baies James et d'Hudson. Les espèces les plus abondantes sont le phoque annelé (*Phoca hispida*) et le béluga (*Delphinapterus leucas*) (Sergeant 1986). Les populations de phoques annelés ont été estimées à 61 000 individus dans la baie James et à 455 000 individus dans la baie d'Hudson (Smith 1975a). Ces phoques se retrouvent principalement à moins de 16 km de la côte, à l'intérieur de la limite hivernale de la banquise de glace solidifiée tout autour des baies (Smith 1975a). En ce qui concerne les bélugas présents dans la baie d'Hudson pendant l'été, ceux-ci ont été dénombrés en 1987 à 1 000 dans la partie nord et à 23 000 dans la partie ouest. De plus, Richard *et al.* (1990) ont dénombré environ 1 700 individus au sud-est de la baie d'Hudson et dans la baie James. La fréquentation de certains estuaires de la baie d'Hudson en été, comme par exemple l'estuaire de la rivière Nastapoka, a été bien documentée (Caron et Smith 1990). Les bélugas migrent vers le détroit d'Hudson pour l'hiver (Finley *et al.* 1982). Par ailleurs, il importe de noter la présence d'une population possiblement isolée d'environ 200 phoques communs (*Phoca vitulina*) dans la région des lacs des Loups-Marins, située à la tête du bassin hydrographique de la rivière Nastapoka, du côté est de la baie d'Hudson (Sergeant 1986).

L'avifaune de la région est dominée par 27 espèces d'oiseaux de rivage qui utilisent la zone intertidale pendant l'été (Morrison et Gaston 1986). Plusieurs espèces de sauvagine sont présentes sur la côte durant l'été; parmi celles-ci, la bernache du Canada (*Branta canadensis*) et l'oie blanche (*Anser hyperborea*) viennent se reproduire sur les côtes des baies James et d'Hudson. Le littoral de la baie James et du sud de la baie d'Hudson, de même que la baie James sont des habitats importants pour les oiseaux migrateurs (Morrison et Gaston 1986). En effet, grâce à la présence de marais salés et au tapis de zostère recouvrant les zones intertidales, ces oiseaux peuvent y effectuer des haltes et refaire leur réserve de graisse pour poursuivre leur migration (Thomas et Prevet 1982). D'importantes colonies de marmettes de Brunnich (*Uria lomvia*) sont également présentes dans le nord-est de la baie d'Hudson, où les eaux de surface de faible salinité provenant de la baie s'écoulent vers le détroit d'Hudson (Gaston *et al.* 1986).



Figure II-1. Carte physiographique et tectonique en médaillon de l'Amérique du Nord (Martini 1986).

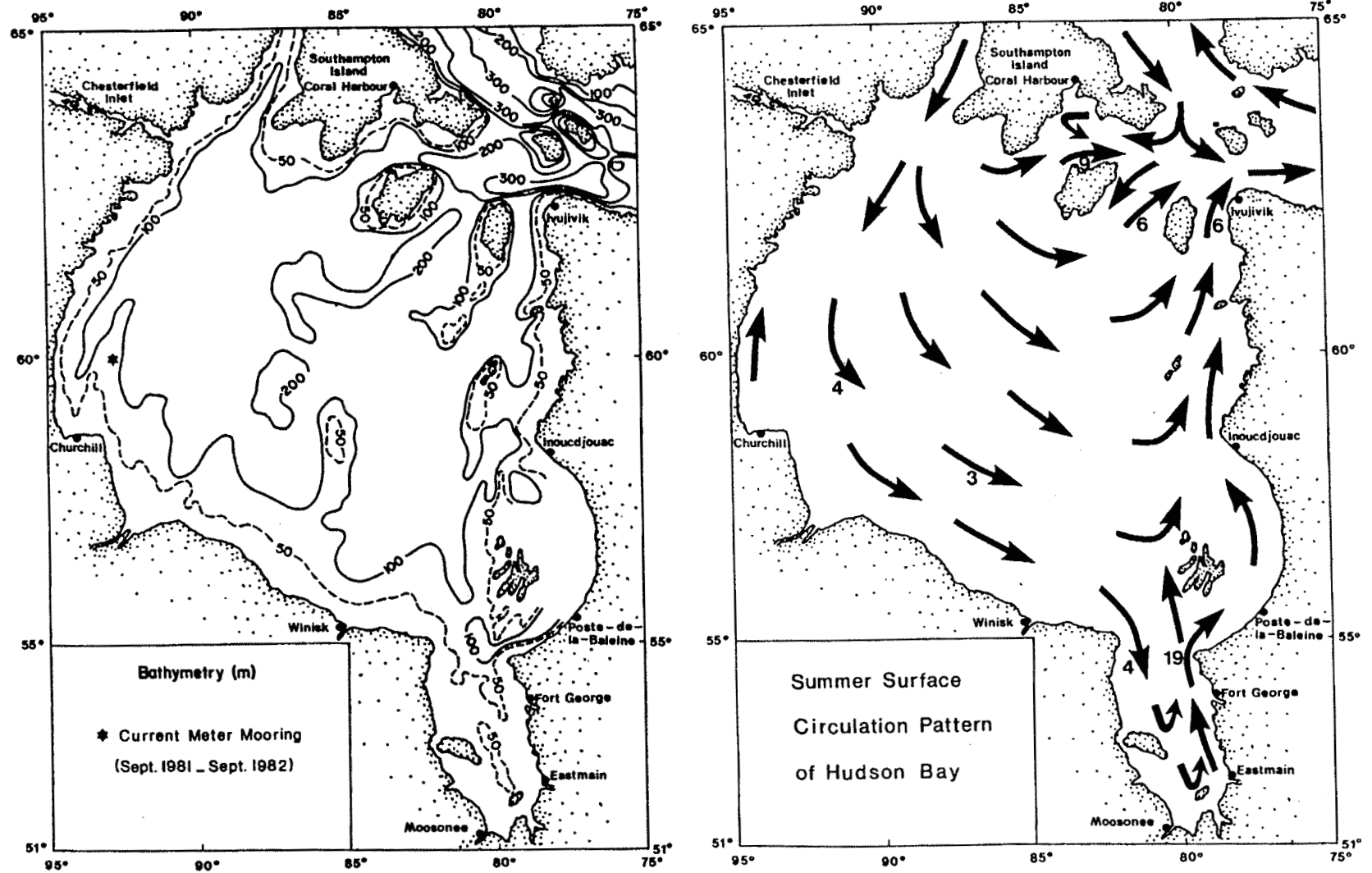


Figure II-2. Bathymétrie et circulation estivale de surface ( $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ) dans les baies James et d'Hudson (Prinsenbergh 1986b).



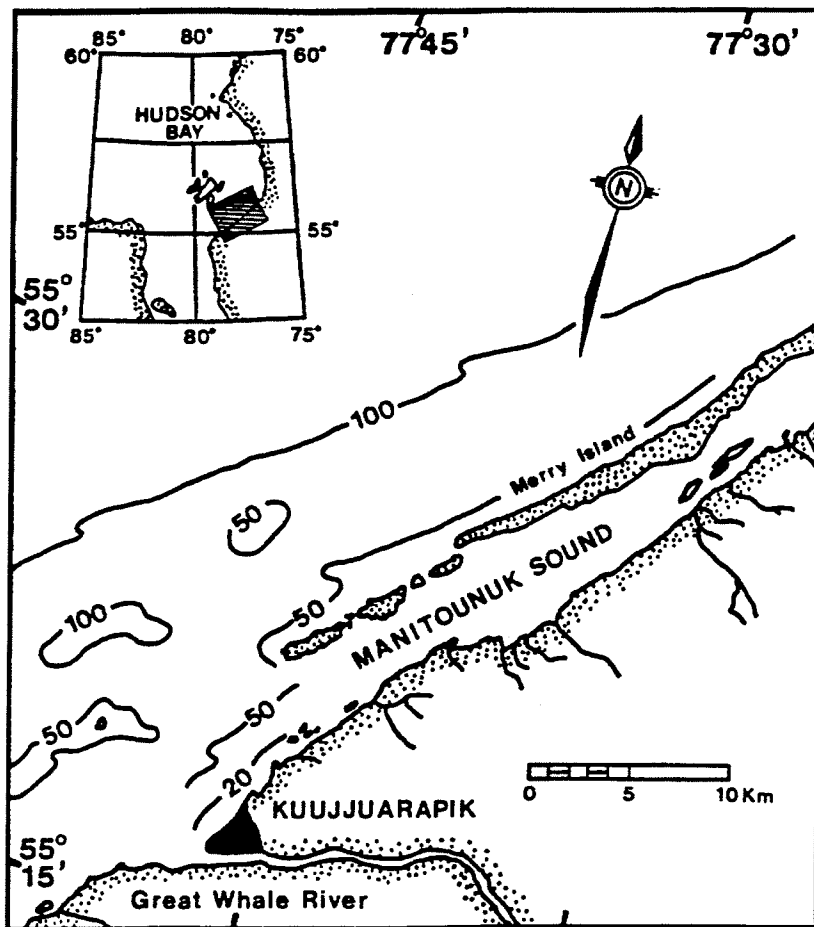


Figure II-3. Bathymétrie à l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine et à l'entrée du détroit de Manitounuk, dans le sud-est de la baie d'Hudson (Source : GIROQ).

### Annexe III. Les grands projets d'aménagements hydroélectriques dans les baies James et d'Hudson

#### 1. Introduction

La majorité des informations décrites dans les sections qui suivent sont tirées des plans de développement d'Hydro-Québec (SEBJ 1979; Hydro-Québec 1989, 1990, 1991) et d'Ontario Hydro (1989), de même que des communications personnelles réalisées auprès des représentants de Manitoba Hydro. Les projets de développement hydroélectriques décrits ci-après ne sont pas définitifs et des modifications pourraient être apportées aux différents aménagements proposés. Des informations additionnelles sur ces projets proviennent également de Dickson (1975), Eford (1975), Newbury *et al.* (1984), Commission internationale des grands barrages (1984) et Brousseau et Goodchild (1986).

#### 2. Complexe La Grande

Le complexe hydroélectrique La Grande (Figure III-1) constitue la Phase I du programme de développement hydroélectrique de la baie James et consiste en un ensemble de centrales et de réservoirs aménagés dans le bassin hydrographique de la Grande Rivière à partir des bassins hydrographiques des rivières Eastmain et Caniapiscau. L'aménagement en deux étapes des 10 centrales du complexe d'une puissance totale de 10 400 MW nécessite la construction de 15 barrages et de 331 digues, affectant ainsi une superficie totale de 15 000 km<sup>2</sup> (Tableau III-1).

La première étape de développement du complexe La Grande a été complétée en 1984 et comprend les centrales LG 2, LG 3 et LG 4. L'aménagement de ces centrales a entraîné la création de 5 réservoirs importants et une partie des débits de quatre rivières avoisinantes a été réorientée vers deux de ces réservoirs. Le détournement des rivières Eastmain, Opinaca et Petite Opinaca vers le réservoir de LG 2 s'est traduit par un apport additionnel de 800 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Les eaux provenant du bassin supérieur de la rivière Caniapiscau et qui se déversent dans la baie d'Ungava ont été détournées vers le réservoir LG 4 par le biais de la rivière Laforge, entraînant un débit additionnel de 780 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Dans les milieux côtiers de la baie James, la mise en place des aménagements du complexe La Grande s'est traduite par une réorientation importante des apports d'eau douce en un seul point : l'embouchure de la Grande Rivière.

En plus des centrales LG 2, LG 3 et LG 4, une deuxième série d'aménagements ont été entrepris par Hydro-Québec, dont la centrale LG 1 ainsi que plusieurs centrales complémentaires (Tableau III-1). Ces centrales entraîneront la création des réservoirs LG 1 et Laforge, sans nécessiter toutefois d'autres détournements. Les centrales complémentaires incluent LG 2A en aval de LG 2, EM 1 sur la rivière Eastmain en amont du réservoir Opinaca, Brisay à la sortie du réservoir Caniapiscau, ainsi que les centrales LA 1 et LA 2 sur la rivière Laforge.

### 3. Complexe Grande Baleine

Le complexe Grande Baleine (Figure III-2) fait partie de la Phase II de la baie James avec le complexe Nottaway-Broadback-Rupert (NBR). Les aménagements prévus comprendraient les centrales et les réservoirs GB 1, GB 2 et GB 3, un réservoir de régulation situé au lac Bienville, le détournement de la Grande rivière de la Baleine vers la rivière Domanchin, où serait localisée la centrale GB 1, et le détournement partiel des rivières Nastapoka, Petite rivière de la Baleine et Boutin vers le réservoir GB 1 via la rivière Coats. Toutefois, Hydro-Québec a récemment abandonné momentanément la réalisation de ce projet.

Les installations physiques du complexe comprendraient la construction de 5 barrages et de 133 digues qui affecteraient une superficie globale d'environ 3 400 km<sup>2</sup> (Tableau III-1). À la fin du projet, les trois centrales devraient générer environ 3 200 MW.

La Grande rivière de la Baleine se jette dans la baie d'Hudson au sud du détroit de Manitounuk et son débit moyen à l'embouchure est de 667 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Plus du tiers de ses eaux d'écoulement proviennent du lac Bienville. La Petite rivière de la Baleine se jette au nord du détroit et son débit à l'embouchure est trois fois plus faible que celui de la Grande rivière de la Baleine, soit environ 200 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Quant à la rivière Nastapoka, elle se jette dans la baie d'Hudson au nord du lac Guillaume-Delisle et les eaux qui en seraient détournées proviennent essentiellement des lacs Saindon et Amichinatwayach.

Après l'aménagement des différents barrages et digues prévus, une partie des débits de la Petite rivière de la Baleine et de la rivière Nastapoka seraient réorientés vers la rivière Boutin. Selon deux variantes encore à l'étude, le débit à l'embouchure de la Petite rivière de la Baleine subirait une réduction de 76 % ou 94 % tandis que la rivière Nastapoka subirait dans les deux cas une réduction de 17 % de son débit à l'embouchure, provenant essentiellement du détournement des lacs de tête de son bassin hydrographique. Les débits détournés vers le réservoir GB 1 correspondraient à 194 ou 234 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> selon la variante retenue. Les eaux des rivières Boutin et Grande rivière de la Baleine seraient quant à elles détournées vers la rivière Domanchin qui se jette dans le détroit de Manitounuk. L'écoulement moyen à l'embouchure de cette rivière passerait alors d'un débit de 2 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> jusqu'à plus de 700 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Le débit à l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine diminuerait en moyenne de 667 à 105 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, soit une réduction de 85 %. Toutefois, les plans prévus de détournement de la rivière Nastapoka ont récemment été abandonnés par Hydro-Québec.

Dans les milieux côtiers du sud-est de la baie d'Hudson, le résultat final de ces aménagements serait une réorientation des débits d'eau douce vers l'intérieur du détroit de Manitounuk et une modification importante du patron saisonnier de variation des apports d'eau douce dans le sud-est de la baie d'Hudson. Le bassin hydrographique du lac à l'Eau Claire ainsi que le lac Guillaume-Delisle ne seraient toutefois pas affectés par les aménagements.

### 4. Complexe Nottaway-Broadback-Rupert

Le développement du complexe Nottaway-Broadback-Rupert (NBR) constitue la dernière étape de la Phase II du programme de développement hydroélectrique de la baie James. Ce projet pré-

voit le détournement des rivières Nottaway et Rupert vers la rivière Broadback, la construction de 11 centrales et la création de 7 grands réservoirs (Tableau III-1).

Hydro-Québec envisage d'étaler la réalisation du projet sur quatre phases successives. La première phase comporterait le détournement de la rivière Rupert vers la rivière Broadback, la création des réservoirs Giffard-Némiscau, la construction des centrales R 10 et R 11, ainsi que l'aménagement partiel des centrales B 5 et B 8 (Figure III-3). La deuxième phase comprendrait le détournement du cours supérieur de la rivière Nottaway vers la rivière Broadback, la création du réservoir Goéland-Waswanipi, l'aménagement complémentaire des centrales B 5 et B 8 et la construction de la centrale B 6 (Figure III-3). Dans la troisième phase, le cours inférieur de la rivière Nottaway serait détourné vers la rivière Broadback et les réservoirs Quénonisca, Evans et Soscumita-Matagami seraient créés ainsi que les centrales Quénonisca, Evans et B 3 (Figure III-4). Finalement, les centrales B 1, B 2 et B 4 seraient construites au cours de la quatrième phase des aménagements (Figure III-4).

À la complétion du projet, le complexe NBR assurerait une production annuelle de 45,3 TWh et une puissance de pointe d'environ 8 400 MW. Les 7 réservoirs du complexe auraient une réserve utile de 37,3 milliards de mètres cubes répartie sur les 3 bassins versants (Tableau III-1). Les plans d'eau ainsi créés couvriraient une superficie totale de 6 500 km<sup>2</sup>.

## **5. Système du bassin hydrographique de la rivière Moose**

Le bassin versant de la rivière Moose est constitué de la rivière Moose, qui s'étend sur 106 km jusqu'à la baie James, et de plusieurs rivières secondaires où sont aménagées les 15 centrales du système, incluant 19 ouvrages régulateurs (Figure III-5). La construction de la première de ces centrales a été effectuée en 1910 sur la rivière Mattagami. Par la suite, plusieurs autres centrales ont été érigées jusqu'aux années soixante, principalement sur les rivières Mattagami et Abitibi. La puissance combinée actuelle du système est d'environ 1 000 MW et plusieurs centrales ont un usage industriel ou local de sorte que la surface totale inondée par les réservoirs, soit 80 km<sup>2</sup>, est faible comparativement aux grands projets hydroélectriques du Québec (Tableau III-1).

Le plan de développement de Ontario Hydro dans le bassin de la rivière Moose prévoit l'aménagement de 6 nouvelles centrales et la modification de 6 centrales existantes (Figure III-6). Le calendrier de développement projeté de ces centrales s'étend sur 27 ans, jusqu'en l'an 2016 (Tableau III-1).

Sur la rivière Mattagami, il est prévu d'accroître la capacité des centrales Little Long, Smoky Falls, Harmon et Kipling, et d'ériger la centrale Cypress Falls à environ 40 km en amont de la centrale Little Long. Cette nouvelle installation sera composée de 2 unités d'une puissance totale de 42 MW et entraînerait l'inondation d'un territoire de 6 km<sup>2</sup>.

Le complexe Abitibi comprend le réaménagement des centrales Abitibi Canyon et Otter Rapids ainsi que la construction d'une nouvelle centrale à Nine Miles Rapids. Cette dernière installation générerait 300 MW et nécessiterait l'inondation de 5 km<sup>2</sup> de territoire.

Finalement, 4 autres centrales sont prévues dans le plan de développement, soit Renison, Blacksmith Rapids, Sand Rapids et Allan Rapids. Ces centrales, situées près du confluent des rivières Mattagami et Abitibi ainsi que dans la rivière Moose, produiraient plus de 500 MW et inonderaient plus de 12 km<sup>2</sup> de territoire.

Toutefois, Ontario Hydro a récemment modifié ces plans de développement. Ainsi, les projets de réaménagement des centrales Abitibi Canyon et Otter Rapids et de construction des nouvelles centrales Nine Miles Rapids, Renison, Blacksmith Rapids, Sand Rapids, Allan Rapids et Cypress Falls ont été abandonnés pour l'instant.

## 6. Système Churchill-Nelson

Le développement du complexe hydroélectrique Churchill-Nelson dans le nord-est du Manitoba (Figure III-7) a été entrepris en 1961 et les aménagements du complexe ont entraîné la régulation du niveau du lac Winnipeg et la diversion d'une partie du débit de la rivière Churchill vers la rivière Nelson.

En 1974, un ouvrage de régulation, la centrale Jenpeg et 3 canaux artificiels ont été construits dans la partie ouest de la rivière Nelson. Ces aménagements ont permis de régulariser le niveau du lac Winnipeg et de contrôler 80% du débit sortant du lac, soit 2 000 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Une partie du débit de la rivière Churchill (~800 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>) a été ensuite détournée vers la rivière Nelson par le biais des rivières au Rat et Burntwood grâce à la construction du barrage de Missi Falls à la sortie du lac Southern Indian. Ce détournement a nécessité le creusage d'un canal artificiel entre le lac Southern Indian et la rivière au Rat. Les centrales du complexe Churchill-Nelson en opération présentement sont celles de Jenpeg à la sortie du lac Winnipeg, Kelsey au confluent des rivières Nelson et Burntwood, ainsi que les centrales Kettle, Long Spruce et Limestone situées en aval de la rivière Nelson.

Dix autres centrales sont également projetées, en plus des aménagements présents, mais leur construction ne nécessiterait pas d'autres modifications majeures au régime hydrologique actuel. Les centrales Wuskwatim, Manasan et First Rapids seraient localisées sur la rivière Burntwood; les centrales Whitemud, Red Rock, Birthday, Gull, Conawapa et Gillam Island seraient érigées sur la rivière Nelson; et la centrale Granville Falls serait aménagée sur la rivière au Rat (Tableau III-1).

Tableau III-1. Caractéristiques techniques des aménagements hydroélectriques actuels et projetés dans les bassins hydrographiques des baies James et d'Hudson.

Centrale	Mise en service	Rivière	Puissance (MW)	Réservoirs			Détournements (Débits, m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
				Capacité (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Superficie (km <sup>2</sup> )	Inondation (km <sup>2</sup> )	
Complexe La Grande (Québec)							
LG 1	1996	La Grande	1 140	1 200	65	40	–
LG 2	1978	La Grande	4 410	61 715 000	2 835	2 630	Eastmain-Opinaca-Petite Opinaca (800)
LG 2A	1996	La Grande	?	–	–	–	–
LG 3	1981	La Grande	1 500	60 020 000	2 420	2 175	Caniapiscou-Laforge (780)
LG 4	1981	La Grande	1 500	19 530	765	700	–
EM 1	1996	Eastmain	480	8 500	633	367	–
Brisay	1996	Caniapiscou	400	53 790 000	4 285	3 420	–
LA 1	1996	Laforge	792	–	689	549	–
LA 2	1996	Laforge	231	–	450	–	–
Complexe Grande Baleine (Québec)							
GB 1	2000	Domanchin	2 068	6 600 000	414	358	Grande Baleine (560) Petite-Baleine (160) Nastapoka (40)
GB 2	?	Grande Baleine	540	2 400 000	232	147	–
GB 3	?	Grande Baleine	560	3 400 000	444	144	–
Bienville (réservoir)	?	Lac Bienville	–	17 400 000	2 305	918	–
Complexe NBR (Québec)			8 400	37 300 000			–
B 1	2007	Broadback	?	?	25	16	–
B 2	2007	Broadback	?	?	26	21	–
B 3	2007	Broadback	?	?	14	12	–
B 4	2007	Broadback	?	?	16	11	–

Tableau III-1, suite.

Centrale	Mise en service	Rivière	Puissance (MW)	Réservoirs			Détournements (Débits, m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )
				Capacité (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Superficie (km <sup>2</sup> )	Inondation (km <sup>2</sup> )	
B 5	2007	Broadback	?	?	45	41	–
B 6	2007	Broadback	?	?	142	123	–
B 8	2007	Broadback	?	?	722	451	Rupert (?)
R 10	2007	Rupert	?	?	535	455	–
R 11	2007	Rupert	?	?	1 180	690	–
Evans	2007	Broadback	?	?	855	259	Nottaway inférieure (?)
Quénonisca	2007	Broadback	?	?	860	589	Nottaway supérieure (?)
Bassin de la rivière Moose (Ontario)							
Sandy Falls	1910	Mattagami	3	?	?	?	–
Wawaitin Falls	1912	Mattagami	11	?	?	?	–
Iroquois Falls	1916	Abitibi	<100	9 621	?	?	–
Smooth Rock Falls	1916	Mattagami	<100	2 005	?	?	–
Twin Falls	1921	Abitibi	<100	1 646 709	?	?	–
Island Falls	1925	Abitibi	<100	48 846	?	?	–
Kapuskasing	1927	Kapuskasing	<100	?	?	?	–
Smoky Falls*	1928	Mattagami	56	6 908	–	0,4	–
Abitibi Canyon*	1933	Abitibi	293	45 639	13	11	–
Otter Rapids*	1961	Abitibi	175	55 260	9,2	3,2	–
Little Long*	1963	Mattagami	122	375 573	75	46	–
Harmon*	1965	Mattagami	129	22 940	2,5	0,5	–
Kipling*	1966	Mattagami	125	11 160	1,4	0,6	–
Nine Miles Rapids	2004	Abitibi	295	?	?	4,7	–
Renison	2007	rivière Moose	135	?	?	4,4	–

Tableau III-1, suite.

Centrale	Mise en service	Rivière	Puissance (MW)	Réservoirs			Détournements (Débits, m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )
				Capacité (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Superficie (km <sup>2</sup> )	Inondation (km <sup>2</sup> )	
Blacksmith Rapids	2011	Abitibi	140	?	?	8,0	–
Sand Rapids	2015	Abitibi	132	?	?	?	–
Allan Rapids	2015	Abitibi	132	?	?	?	–
Cypress Falls	2016	Mattagami	42	?	?	5,5	–
Système Churchill-Nelson (Manitoba)							
Kelsey	1960	Nelson	236	1 850 235	700	123	–
Kettle Rapids	1969	Nelson	1 224	2 529 000	333	233	–
Jenpeg	1975	Cross Lake	168	31 790 000	?	75	–
Long Spruce	1977	Nelson	1 000	277 000	24	20	Churchill (800)
Limestone	1990	Nelson	?	350 000	?	?	–
Wuskwatin	?	Burntwood	?	?	?	?	–
Manasan	?	Burntwood	?	?	?	?	–
First Rapids	?	Burntwood	?	?	?	?	–
Granville Falls	?	Rat	?	?	?	?	–
Whitemud	?	Nelson	?	?	?	?	–
Red Rock	?	Nelson	?	?	?	?	–
Birthday	?	Nelson	?	?	?	?	–
Gull	?	Nelson	?	?	?	?	–
Conawapa	?	Nelson	?	?	?	?	–
Gillam Island	?	Nelson	?	?	?	?	–

N.B. Les parties ombragées indiquent les aménagements prévus.

\* Réaménagement prévu dans les plans de développement.

? Données non disponibles.

– Ne s'applique pas.



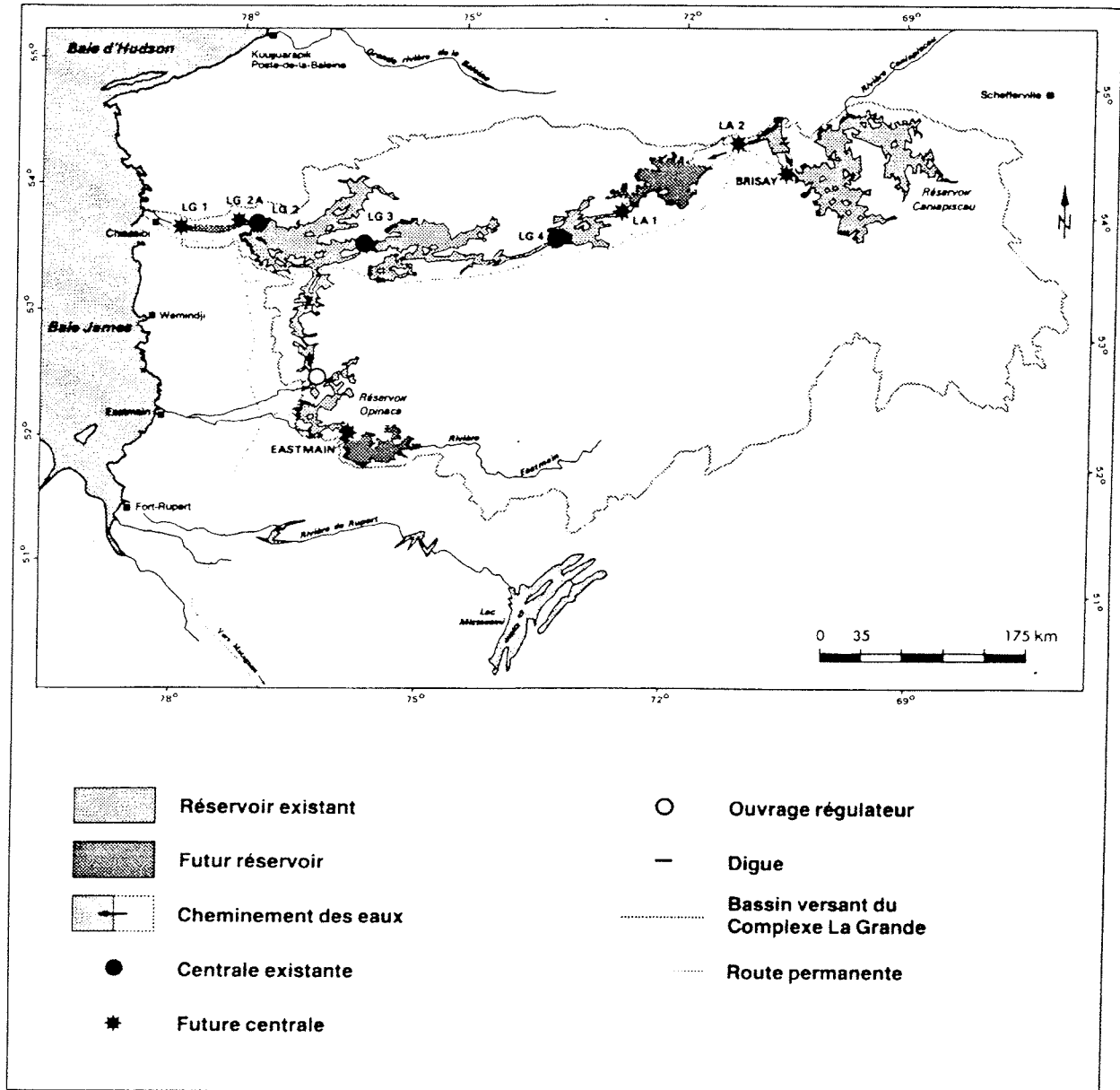


Figure III-1. Aménagements hydroélectriques du complexe La Grande, du côté est de la baie James (Hydro-Québec 1987).

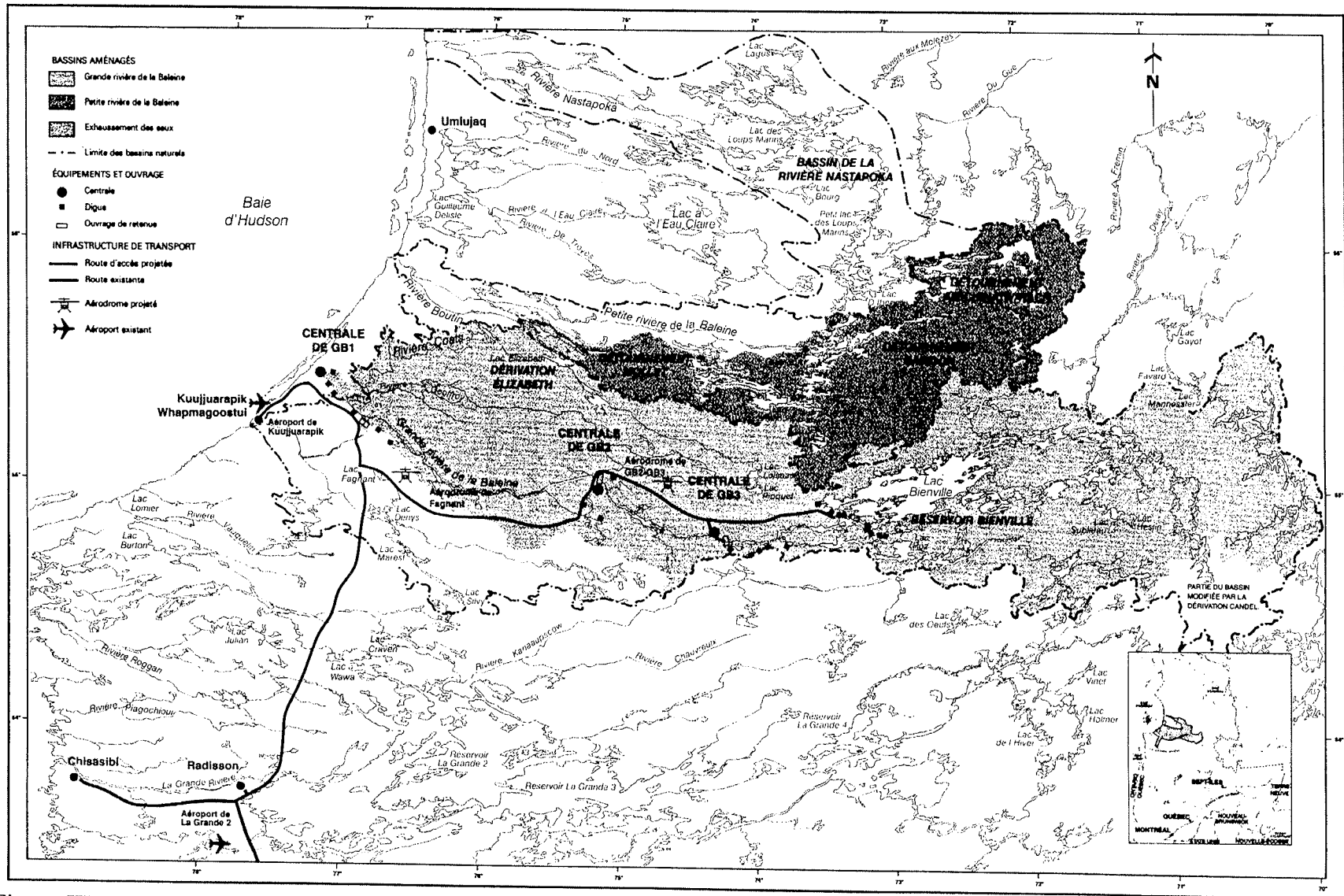


Figure III-2. Aménagements hydroélectriques éventuels et infrastructures d'accès du complexe Grande Baleine, dans le sud-est de la baie d'Hudson (Hydro-Québec 1990).

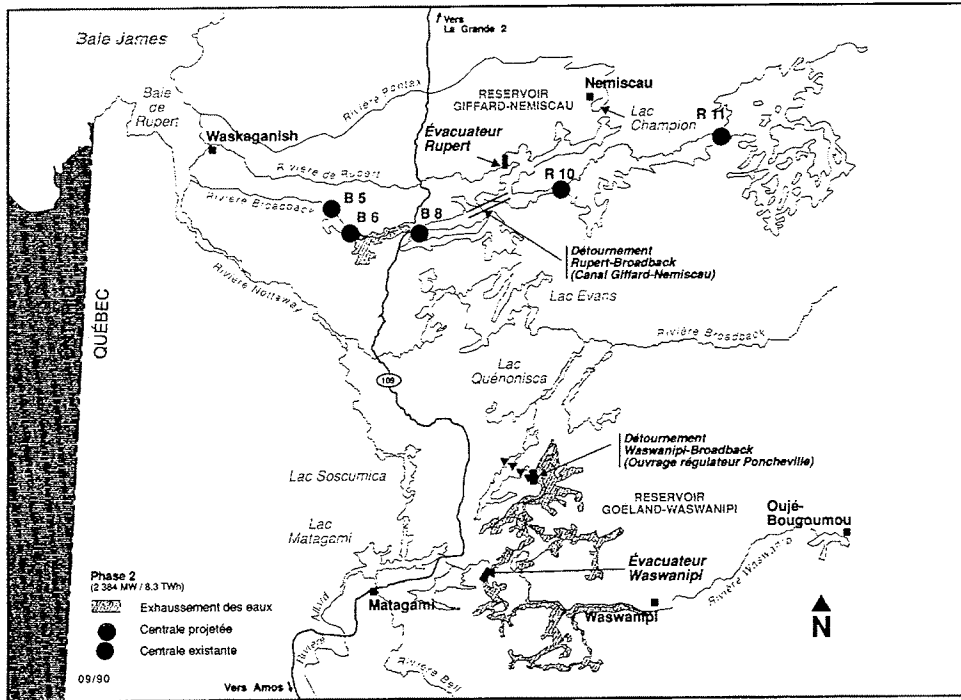
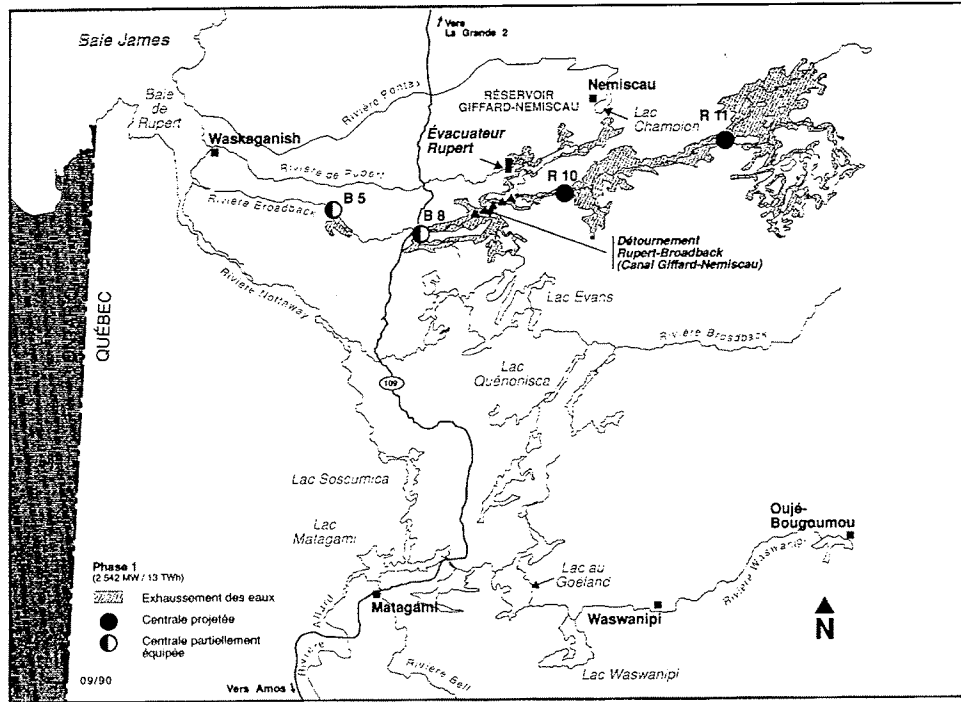


Figure III-3. Schémas de la phase 1 et de la phase 2 des aménagements hydroélectriques projetés du complexe Nottaway-Broadback-Rupert (NBR), dans le sud-est de la baie James (Hydro-Québec 1990).

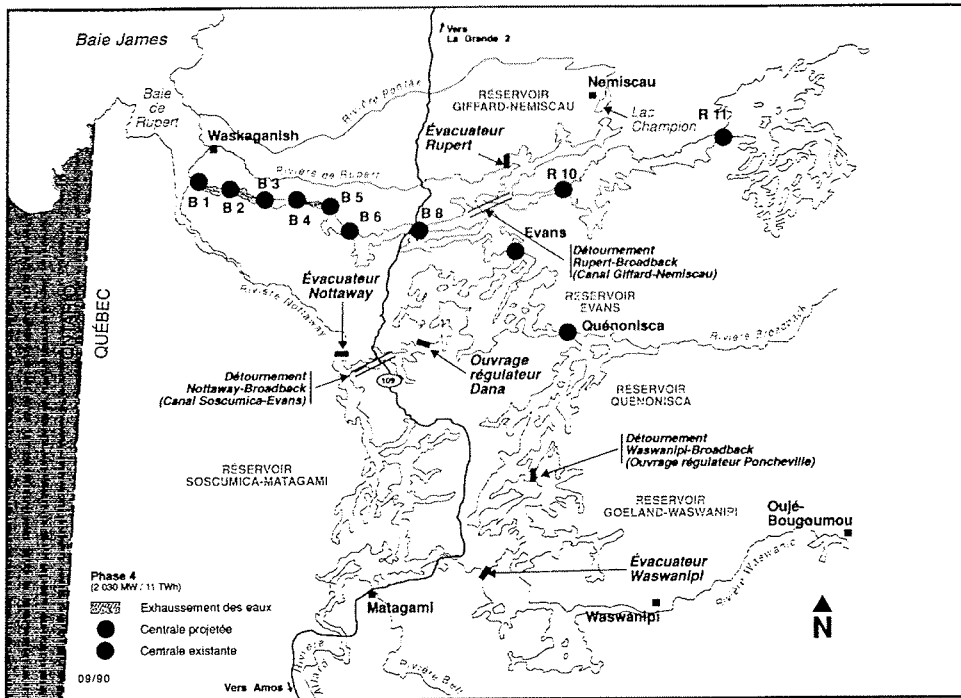
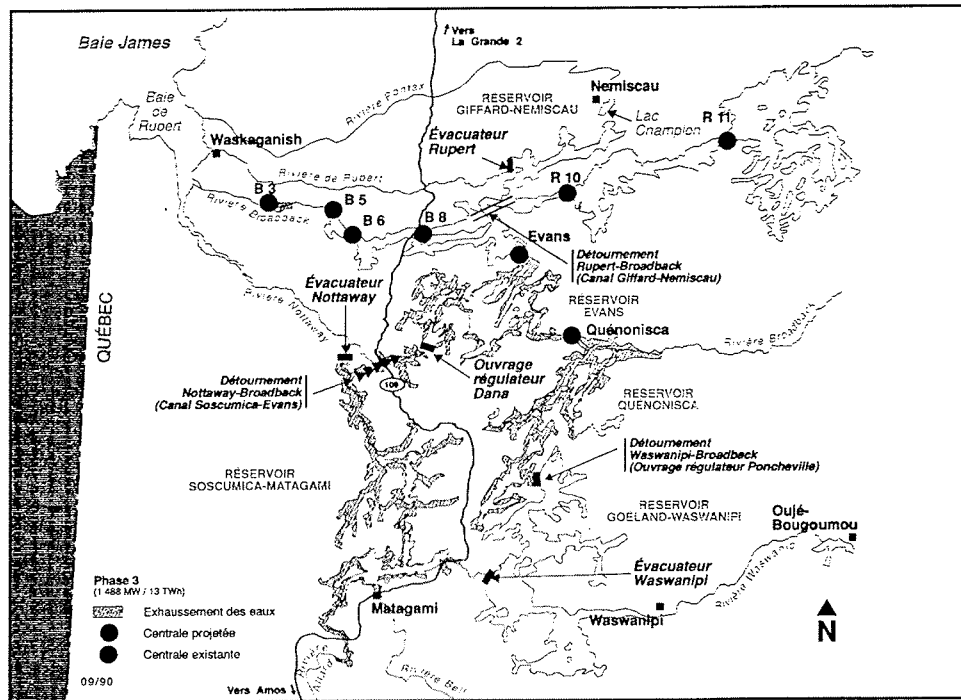


Figure III-4. Schémas de la phase 3 et de la phase 4 des aménagements hydroélectriques projetés du complexe Nottaway-Broadback-Rupert (NBR), dans le sud-est de la baie James (Hydro-Québec 1990).

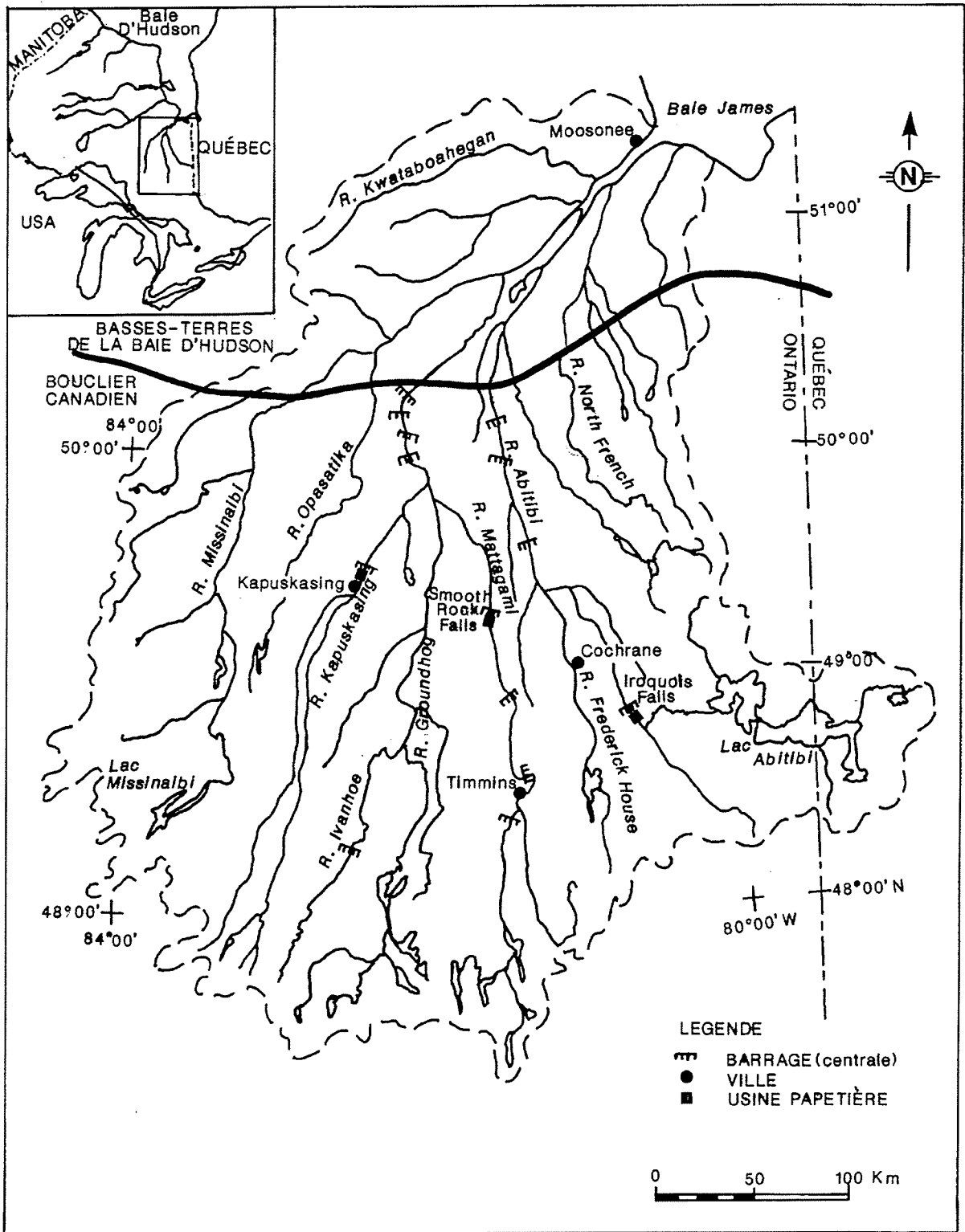


Figure III-5. Bassin hydrographique de la rivière Moose, au sud-ouest de la baie James, et emplacements des centrales existantes (Brousseau et Goodchild 1986).

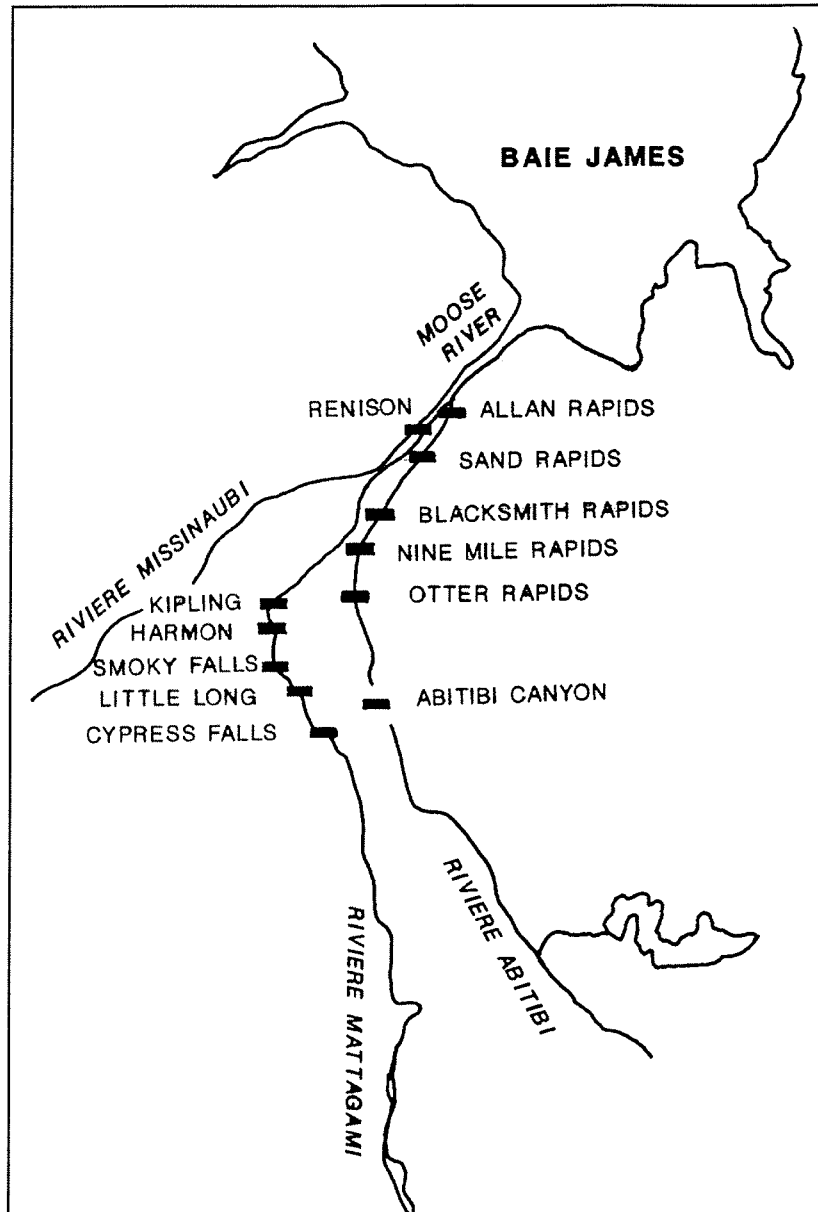


Figure III-6. Localisation des centrales projetées et des installations dont le réaménagement est prévu par Ontario Hydro, dans le bassin hydrographique de la rivière Moose (Ontario Hydro 1989).

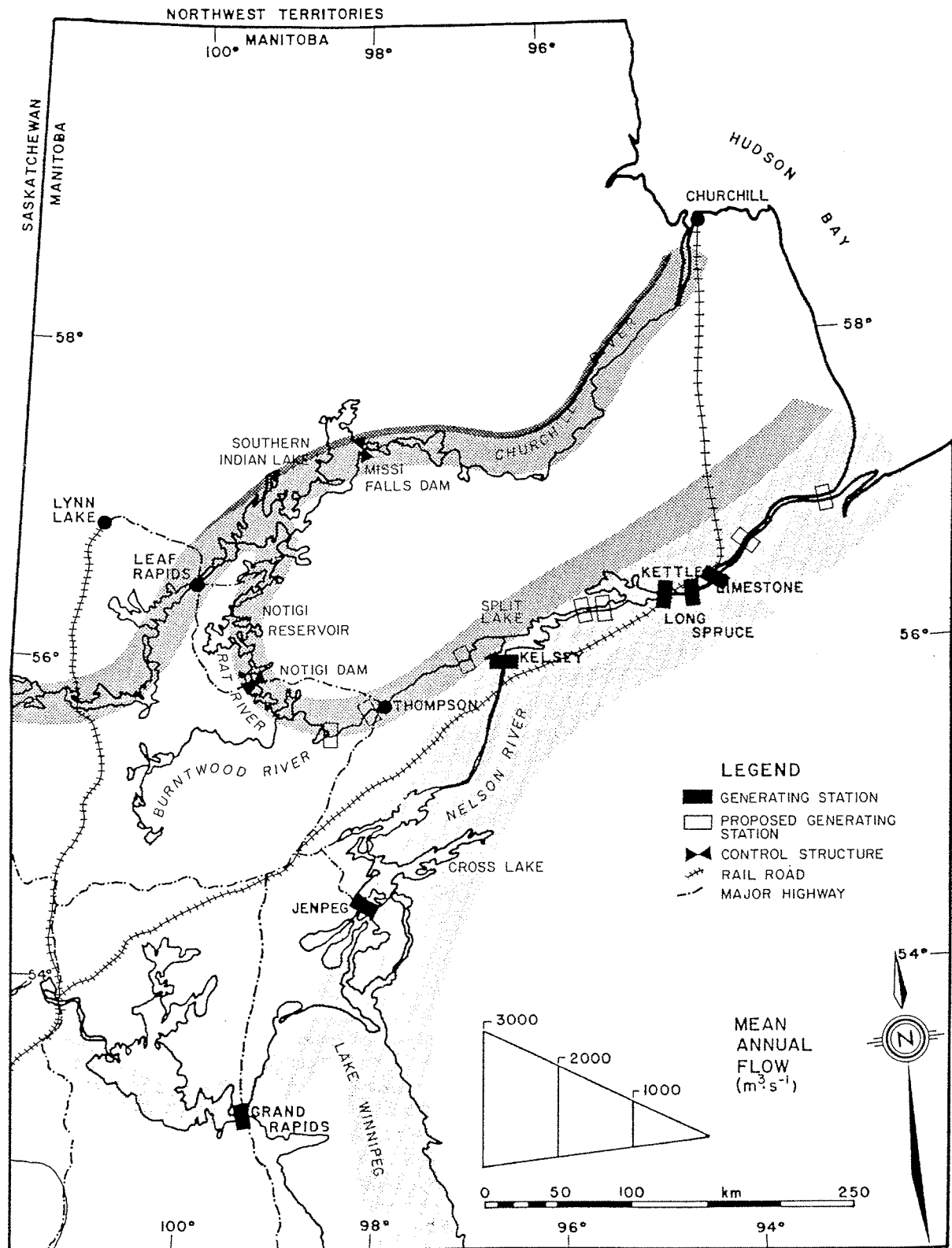


Figure III-7. Aménagements hydroélectriques actuels et projetés du système Churchill-Nelson, dans le sud-ouest de la baie d'Hudson (Newbury *et al.* 1984).

#### Annexe IV. Liste des hypothèses

- Hypothèse 1 : Il existerait un gradient décroissant de productivité allant de la côte vers le large, qui serait relié à des phénomènes dynamiques de circulation et qui pourrait être affecté significativement par une modification du régime local de débit d'eau douce.
- Hypothèse 2 : La glace d'eau douce affecterait la productivité biologique dans la région du panache de la Grande rivière de la Baleine et une augmentation de l'étendue de cette glace pourrait modifier la productivité biologique dans une zone encore plus vaste.
- Hypothèse 3 : Il existerait une variabilité spatio-temporelle des phénomènes hydrodynamiques à moyenne échelle dans la baie d'Hudson qui pourrait affecter la productivité locale.
- Hypothèse 4 : Les phoques annelés utilisent les crêtes de pression comme habitat de reproduction et une modification du régime et des caractéristiques des glaces pourrait affecter l'abondance de cette espèce dans la zone côtière.
- Hypothèse 5 : L'apport de matériel organique allochtone serait important pour la productivité biologique de l'estuaire de la Grande rivière de la Baleine.
- Hypothèse 6 : La moule bleue (*Mytilus edulis*) ainsi que certaines espèces de bivalves sédentaires et suspensivores seraient de bons bio-indicateurs de l'évolution spatio-temporelle de la contamination causée par les aménagements hydroélectriques des baies James et d'Hudson.
- Hypothèse 7 : L'eau et les sédiments du milieu marin de la région côtière du sud-est de la baie d'Hudson pourraient subir des modifications chimiques importantes suite à la réalisation du projet Grande Baleine.
- Hypothèse 8 : La biomasse pélagique et benthique serait significativement plus élevée dans les régions côtières que dans les régions hauturières de la baie d'Hudson.
- Hypothèse 9 : La biomasse pélagique et benthique dans la région des îles Belcher serait plus élevée que dans les régions hauturières de la baie d'Hudson, étant donné l'effet de masse insulaire.
- Hypothèse 10 : Les débits d'eau douce favoriseraient le mélange vertical dans les régions côtières de la baie d'Hudson et l'inhiberaient dans les régions hauturières, sauf dans la région des îles Belcher où le mélange vertical serait plus important; ces phénomènes auraient un effet significatif sur les productions primaire et secondaire.



- Hypothèse 11 : Une modification des apports d'eau douce dans le sud-est de la baie d'Hudson pourrait affecter le recrutement des populations de lançon et de morue arctique de cette région.
- Hypothèse 12 : Le détroit de Manitounuk constituerait un site d'éclosion et de développement important pour les larves de poissons et particulièrement pour les larves de morue du Groenland (*Gadus ogac*).
- Hypothèse 13 : Les modifications physiques des eaux du détroit de Manitounuk causées par les aménagements hydroélectriques affecteraient la survie des larves de poissons dans la région du détroit.
- Hypothèse 14 : La distance génétique serait faible ou inexistante entre les populations de saumon atlantique de la rivière Nastapoka, de la rivière aux Mélézes et de la rivière Koksoak.
- Hypothèse 15 : Les alevins et les tacons de saumon atlantique ainsi que les autres espèces de poissons occupent des habitats préférentiels dans le secteur situé en aval des chutes de la rivière Nastapoka.
- Hypothèse 16 : La distance génétique est faible ou inexistante entre les phoques des lacs des Loups-Marins, ceux des côtes de la baie d'Ungava, et ceux de la côte est de la baie d'Hudson.
- Hypothèse 17 : Le détournement d'eau du bassin hydrographique de la rivière Nastapoka n'affectera pas l'habitat et la population de phoques d'eau douce.
- Hypothèse 18 : La réduction du débit aux embouchures de la rivière Nastapoka et de la Petite rivière de la Baleine, suite à la réalisation du projet Grande Baleine, pourrait entraîner chez le béluga :
- une perte d'habitats de mue;
  - une diminution de son abondance locale, ce qui affecterait la disponibilité de cette ressource pour les populations humaines autochtones;
  - une contamination au mercure des individus qui s'alimentent près des estuaires situés en aval des réservoirs;
  - une altération possible des périodes de migration, suite aux changements dans les régimes hydrodynamiques et thermiques de même que dans les conditions de glace; et
  - des coûts énergétiques accrus en raison d'un retard possible dans l'augmentation de la température des estuaires, et de l'augmentation des déplacements et du stress engendrés par les nouvelles conditions physiques de l'eau.